



**Universidade Eduardo Mondlane**

**Faculdade de Engenharia**

**Departamento de Engenharia Mecânica**

**Disciplina: Energias Renováveis**  
**Aproveitamento Solar Para Aquecimento**  
**de Água Sanitária em Hospitais**

**Autor:**

**YOTAMO, Albino Fernando Damião**

**Supervisor:**

**Boaventura Cuamba, (Phd)**

**Freitas Garine, (Engº)**

**Maputo, Junho de 2006**

# Índice

|   |    |
|---|----|
| 2. Objectivos gerais da disciplina.....   | 6  |
| 3. As principais Energias Renováveis.....   | 7  |
| 3.1. Introdução .....   | 7  |
| 3.1.1. Energia geotérmica .....   | 9  |
| 3.1.2. Energia da Biomassa ou bioenergia.....   | 9  |
| 3.1.3. Energia eólica.....  | 11 |
| 3.1.4. Energia das ondas .....  | 12 |
| 3.1.5. Energia solar .....  | 13 |
| 3.1.5.1. Objectivos específicos do projecto.....  | 13 |
| 3.1.5.2. Introdução .....   | 14 |
| 3.2. Factores que determinam a quantidade de energia solar a ser capturada .....                        | 16 |
| 3.2.1. Características do local de implantação do sistema .....   | 16 |
| 3.2.2. Localização do colector no local.....  | 16 |
| 3.2.3. Orientação do colector .....   | 16 |
| 3.2.4. Hora do dia.....   | 16 |
| 3.2.5. Estação do ano .....   | 17 |
| 3.2.6. Limpeza atmosférica.....   | 17 |
| 3.3. Constante solar e componentes da radiação solar .....  | 17 |
| 3.4. Planeamento do local para a exploração da energia solar.....                                       | 18 |
| 3.4.1. Seleção do local.....  | 19 |
| 3.5. Componentes de um sistema solar.....   | 20 |
| 3.5.1. Tipos de colectores solares.....   | 20 |
| 3.5.2. Colectores planos .....  | 21 |
| 3.5.3. Teste de colectores.....   | 21 |
| 3.5.4. Corrosão em colectores.....  | 22 |
| 3.5.5. Armazenamento de calor .....   | 22 |
| 3.5.6. Subsistemas de um sistema solar .....  | 23 |
| 3.6. Materiais.....   | 25 |
| 3.7. Aproveitamento solar fotovoltaico.....   | 25 |
| 3.7. O essencial do aproveitamento fotovoltaico.....  | 26 |
| 4. Caso de estudo: Aproveitamento solar para aquecimento de água sanitária em hospitais .....           | 28 |
| 4.1. Modelo Matemático para o cálculo do sistema solar .....  | 28 |
| 4.1.1. Radiação solar disponível e sua medição.....   | 28 |
| 4.1.2. Radiação solar em superfícies inclinadas .....   | 29 |
| 4.1.3. Características de radiação dos materiais .....  | 32 |
| 4.1.4. Transmissão da radiação através de materiais transparentes .....                                 | 33 |
| 4.1.5. Radiação solar absorvida.....  | 34 |
| 4.1.6. Colector plano e sua caracterização .....  | 36 |
| 4.1.6.1. Equação de balanço energético para o colector solar plano .....                                | 37 |
| 4.1.6.2. Coeficiente global de perdas de calor do colector .....  | 37 |
| 4.1.6.3. Factor de eficiência do colector .....   | 44 |
| 4.1.6.4. Factor de remoção de calor.....  | 46 |
| 4.1.7. Eficiência do colector .....   | 47 |
| 4.2. Avaliação das condições do local de implantação do sistema .....                                   | 48 |
| 4.2.1. Localização do sistema.....  | 50 |
| 4.3. Cálculo do consumo de água quente, potência calorífica da caldeira e o volume do reservatório..... | 50 |
| 4.4. Materiais recomendados para o presente caso de estudo .....  | 53 |
| 4.5. Acessórios.....  | 54 |
| 4.5.1. Circulação .....   | 54 |
| 4.5.2. Dispositivos de controle .....   | 54 |
| 4.5.3. Segurança do sistema.....  | 55 |
| 4.5.4. Operação do sistema .....  | 56 |
| 4.5.5. Manutenção do sistema .....  | 57 |
| 5. Avaliação económica do projecto.....   | 58 |
| 6. Conclusões.....  | 60 |
| 7. Recomendações .....  | 61 |
| 8. Referências e bibliografia.....  | 62 |
| 9. Anexos.....  | 63 |

## Lista de símbolos

1.  $I_t$  – Radiação solar global numa superfície inclinada em  $MJ/m^2$ ;
2.  $I_d$  – Radiação directa em  $MJ/m^2$ ;
3.  $I_{dt}$  – Radiação difusa em  $MJ/m^2$ ;
4.  $A_i$  - Índice de anisotropia;
5.  $R_b$  – Factor geométrico, razão entre a radiação directa numa superfície inclinada e a radiação directa numa superfície horizontal;
6.  $\beta$  – Ângulo de inclinação do colector em relação à horizontal;
7.  $f$  – Factor de modelação;
8.  $I_0$  – Radiação solar fora da atmosfera terrestre;
9.  $I$  - radiação solar global
10.  $\rho$  – Reflectância atmosférica;
11.  $R$  – Razão entre a radiação global numa superfície inclinada e a radiação global numa superfície horizontal;
12.  $\phi$  - Latitude do local de implantação do sistema solar;
13.  $\delta$  – Ângulo de declinação solar;
14.  $\omega$  – Hora angular;
15.  $n$  – Dia do mês;
16.  $G_i$  radiação solar numa superfície inclinada em  $W/m^2$ ;
17.  $G$  - radiação solar global numa superfície horizontal em  $W/m^2$ ;
18.  $\alpha$  – Absorvância do material;
19.  $\varepsilon$  – Emissividade do material;
20.  $\tau$  – Transmittância do material;
21.  $S$  – Radiação solar absorvida pelo colector;
22.  $Q_u$  – Calor útil transferido para o fluido de trabalho no colector em  $W$ ;
23.  $A_c$  – Área do colector em  $m^2$ ;
24.  $U_L$  – Coeficiente global de perdas de calor no colector;
25.  $T_{pm}$  – Temperatura média da placa de absorção;
26.  $T_a$  – Temperatura ambiente;
27.  $T_f$  – Temperatura do fluido de trabalho à entrada do colector;
28.  $F_R$  – Factor de remoção de calor do colector;
29.  $h_{r,ca}$  – Coeficiente de perdas de calor por radiação entre a cobertura do colector e o ambiente em  $W/m^2C$ ;

- 30.  $h_{a-a}$  – Coeficiente de perdas de calor por convecção entre a cobertura e o ambiente em  $W/m^2{}^{\circ}C$ ;
- 31.  $h_{p-c}$  - Coeficiente de perdas de calor por convecção entre a placa de absorção e a cobertura do colector em  $W/m^2{}^{\circ}C$ ;
- 32.  $h_{r,p-c}$  - Coeficiente de perdas de calor por radiação entre a placa de absorção e a cobertura do colector em  $W/m^2{}^{\circ}C$ ;
- 33.  $h_{p-a}$  - Coeficiente de perdas de calor por convecção entre a base do colector e o ambiente em  $W/m^2{}^{\circ}C$ ;
- 34.  $h_{r,b-a}$  - Coeficiente de perdas de calor por radiação entre a base do colector e o ambiente em  $W/m^2{}^{\circ}C$ ;
- 35.  $R_{1,2,3,4}$  – Resistências térmicas 1, 2, 3, e 4;
- 36.  $q_{perdas}$  – Calor perdido em kW;
- 37.  $\sigma$  – Constante de Stephan Boltzman;
- 38.  $T_c$  – Temperatura da cobertura do colector em  $^{\circ}C$ ;
- 39.  $T_s$  – Temperatura do ambiente solar, equivalente à temperatura ambiente em  $^{\circ}C$ ;
- 40.  $U_l$  – Coeficiente global de perdas de calor no topo do colector em  $W/m^2{}^{\circ}C$ ;
- 41.  $N_u$  – Número de Nusselt;
- 42.  $R_a$  – Número de Rayleigh;
- 43.  $\beta'$  - coeficiente de expansão volumétrica do gás ideal;
- 44.  $g$  – Aceleração de gravidade do local de implantação em  $m/s^2$ ;
- 45.  $L$  – Distância entre a placa de absorção e a cobertura em m;
- 46.  $\nu$  – Viscosidade cinemática do fluido  $m^2/s$ ;
- 47.  $\alpha$  - Difusibilidade térmica do gás ideal;
- 48.  $P_r$  – Número de Prandtl;
- 49.  $h$  - Coeficiente de transmissão de calor por convecção em  $W/m^2{}^{\circ}C$ ;
- 50.  $k$  – Coeficiente de transmissão de calor por condução em  $W/m^{\circ}C$ ;
- 51.  $h$  – Coeficiente transmissão de calor por convecção do vento em  $W/m^2{}^{\circ}C$ ;
- 52.  $T_{mf}$  – Temperatura média do fluido de trabalho em  $^{\circ}C$ ;
- 53.  $T_{\bar{h}}$  – Temperatura do fluido à entrada do colecto em  $^{\circ}C$ ;
- 54.  $F''$  – Factor do caudal;
- 55.  $U_c$  – Coeficiente global de perdas de calor no corpo do colector em  $W/m^2{}^{\circ}C$ ;
- 56.  $W$  – Distância entre tubos em m;
- 57.  $D$  – Diâmetro externo do tubo em m;
- 58.  $F$  – Factor de eficiência de finesa;
- 59.  $m$  – Razão da razão entre o coeficiente global de perdas de calor e o calor transferido por condução pela placa de absorção;

### **Aproveitamento solar para aquecimento de água sanitária em hospitais**

- 60.  $C_b$  – Condutância do laço em  $W/m^{\circ}C$ ;
- 61.  $\gamma$  – Ângulo azmut da superfície do colector em  $^{\circ}$ ;
- 62.  $m$  - Caudal mássico da água em  $kg/s$ ;
- 63.  $C_p$  – Calor específico à pressão constante  $kJ/kg^{\circ}C$ ;
- 64.  $F$  - Factor de eficiência do colector em %;
- 65.  $T_0$  – Temperatura da água em  $^{\circ}C$ ;
- 66.  $\eta$  – Eficiência do colector em %;
- 67.  $V_{reserv.}$  – Volume do reservatório em  $m^3$ ;
- 68.  $V_{H2O40^{\circ}C}$  – Volume da água quente à  $40^{\circ}C$ ;
- 69.  $V_{70^{\circ}C}$  – Volume da água quente à  $70^{\circ}C$ ;
- 70.  $P_{caldeira}$  – Potência da caldeira em  $kW$ ;
- 71.  $VAL$  – Valor Acrescentado Líquido em MZM.

## **1. Resumo**

O problema de energia nos dias que correm é cada vez mais sensível na mediada em que a dependência externa dos países não produtores de petróleo é cada vez maiores com fortes repercussões nas economias desses países. Por outro a questão ambiental ocupa um lugar de destaque na actualidade. O recurso às chamadas energias renováveis é cada vez mais necessário por forma a reduzir a dependência energética e os índices de poluição ambiental. No presente trabalho de compilação, é feita uma abordagem de forma resumida a questão energética no seu todo, de igual forma se abordam as energias renováveis, com maior enfoque para a energia solar na sua mais simples aplicação, o aquecimento de água sanitária. No caso de estudo é analisada a possibilidade de aproveitamento solar para aquecimento de água em hospitais tendo como lugar de referência a cidade de Maputo.

## **2. Objectivos gerais da disciplina**

- Descrever alguns tipos de energias renováveis;
- Estimar recursos de Energias Renováveis em regiões específicas;
- Estimar o potencial de tecnologias de Energias Renováveis em regiões específicas;
- Fazer cálculos básicos dos parâmetros energéticos;

### **3. As principais Energias Renováveis**

#### **3.1. Introdução**

A energia é a capacidade de realizar trabalho e por conseguinte, possuir grandes reservas energéticas significa possuir elevada capacidade de realizações económicas.

Dentre as energias renováveis mais conhecidas na actualidade apontam-se:

**Biomassa** – aquela que resulta da queima de material orgânico (BIOMASSA LENHOSA) ou a sua transformação em gás (metano) ou líquido (etanol) combustíveis por processos químicos;

**Eólica** – aquela que resulta da velocidade do vento;

**Solar** – aquela que resulta da radiação solar;

**Hídrica** – aquela que resulta da energia potencial e cinética das águas dos rios e dos lagos;

**Ondas** – aproveitamento da energia contida nas marés;

**Geotérmica** – aproveitamento de fontes naturais de calor;

**Célula de hidrogénio** – produção de electricidade a partir da água;

Para permitir uma visão geral das fontes de energia, no diagrama a seguir pode se ver o resumo das fontes de energia na natureza tanto as chamada energias renováveis bem como as convencionais:



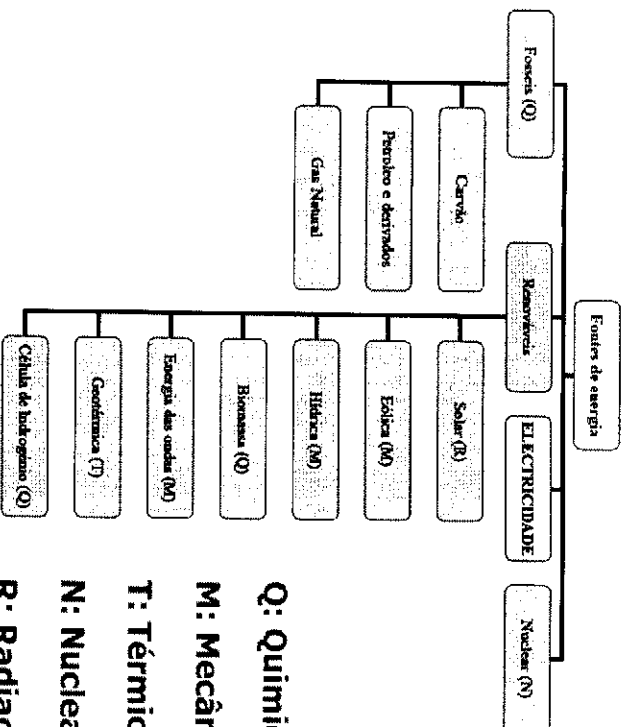


Figura 3.1.1. Resumo das fontes de energia na natureza.

Fonte: Fátima Arthur, 2005 – Tirado dos apontamentos das aulas.

O princípio das energias renováveis é assente no facto de que as fontes são recarregáveis pela natureza.

No gráfico a seguir pode ser vista a distribuição por uso dos diversos tipos de energias no mundo até 2000.

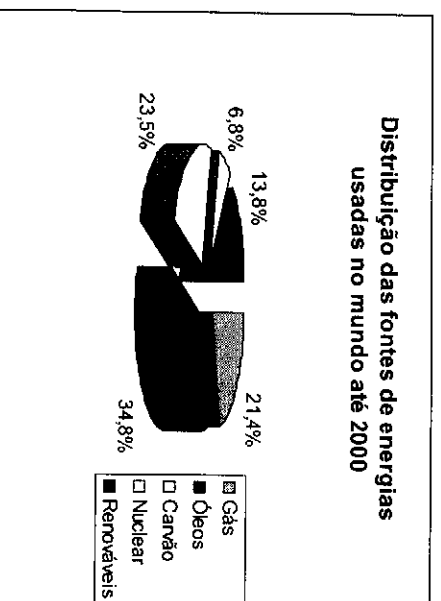


Figura 3.1.2. distribuição por uso dos diversos tipos de energias no mundo até 2000.

Fonte: Adaptado do IEA 2004

As vantagens das energias renováveis são basicamente as seguintes:

- Recurso natural inesgotável;
- Fonte local é independente das variações do mercado internacional;
- Favorável à conservação ambiental;

- Custos de operação e manutenção significativamente baixos;
- Distribuição geográfica dos impactos e da gestão dos sistemas.

À seguir, no Gráfico 3.1.3. pode ser vista a contribuição das fontes primária de energias renováveis no sistema global de energia.

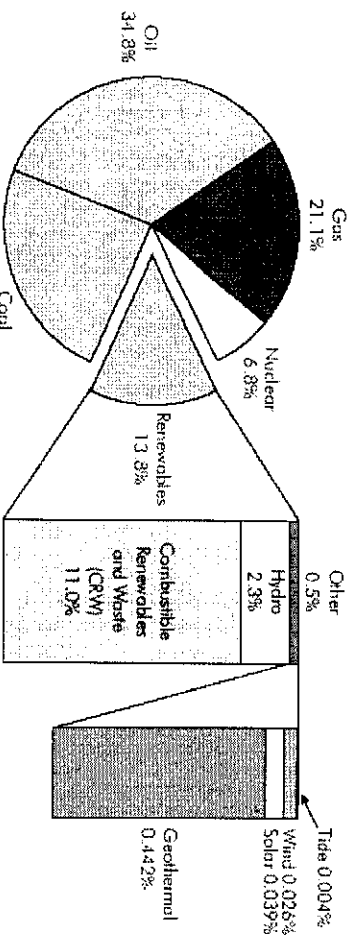


Figura 3.1.3. Contribuição das energias renováveis  
Fonte: IEA 2004

A seguir são resumidamente descritas as fontes de energias renováveis.

### 3.1.1. Energia geotérmica

Em todo o mundo existem registros de locais que sai água quente da terra. Água esta que desde os tempos remotos foi usada para fins medicinais no tratamento de certas enfermidades. Com efeito, os banhos de água quente e os balneários que são construídos nas proximidades dos locais onde ocorrem as águas quentes não são nos dias que correm a única utilização, servem também de fonte de energia térmica. De facto, em alguns países como é o caso da Islândia, se aproveita essa forma de energia para o fornecimento de água quente de aquecimento, [1].

Em Moçambique existem locais como é o caso da região que liga Tete e Zambézia em entre Mutarara e Morrumbala com ocorrência de águas quentes, o que revela a existência de um potencial geotérmico.

### 3.1.2. Energia da Biomassa ou bioenergia

A bioenergia é considerada renovável porque advém de um ciclo que reproduz o processo natural de putrefacção orgânica com a libertação de CO<sub>2</sub> e a consequente absorção de CO<sub>2</sub> pela massa vegetal, com a diferença de que no processo de

libertação do  $\text{CO}_2$  a energia contida na biomassa é capturada em forma de calor (combustão), gás metano ou álcool (etanol). Na utilização de biomassa vegetal não há adição extra de  $\text{CO}_2$  à atmosfera.

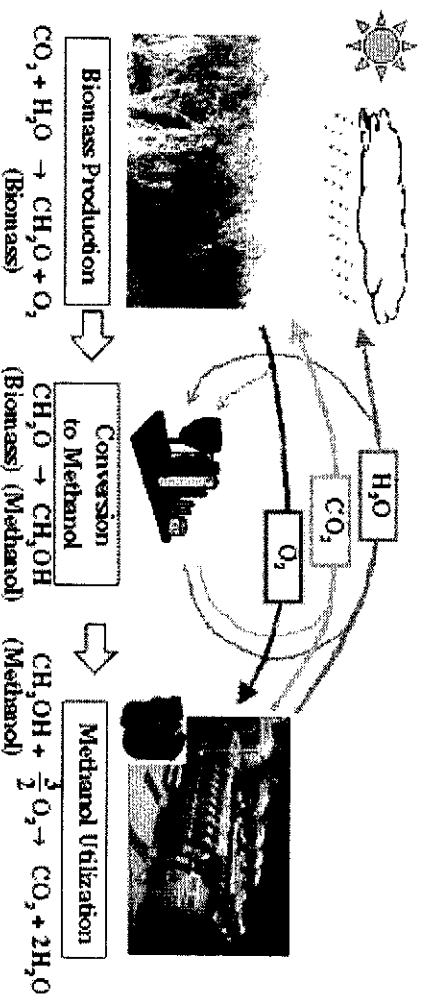


Figura 3.1.2.1. Ilustração do processo de produção do gás metanol e sua utilização

Fonte: Fátima Arthur, 2005 – Ficha de apontamentos da disciplina de Energias Renováveis.

Estudos na nova Zelândia revelaram que em geral duas cabeças de gado adultas produzem excremento suficiente para a produção de biogás suficiente para cozinhar e iluminar uma família de 4 pessoas, [2].

Ainda de acordo com [2], os parâmetros importantes para a caracterização da biomassa são os seguintes:

- A percentagem de água em resíduos animais varia entre 75% e 95%, e para os resíduos vegetais entre 40%-95%;
  - A percentagem de voláteis nos resíduos sólidos (excluindo a componente água) é de cerca de 70% para os resíduos animais, e de 50%-95% nos resíduos vegetais.
- Por outro lado, a caracterização do biodigestor é feita com base nos seguintes parâmetros:
- Massa de sólidos voláteis /  $\text{m}^3$  de biodigestor (1.5 a 6.0  $\text{kg}/\text{m}^3$ );
  - Composição do substrato: % de sólidos (5% a 12%);
  - Volume de biogás /  $\text{m}^3$  de biodigestor (0.2 a 1.0  $\text{m}^3/\text{m}^3$ );
  - HRT (Hydraulic Retention Time), que corresponde ao número médio de dias em que uma unidade de volume de substrato (biomassa) deve permanecer no digestor, isto é, Volume da biomassa no digestor / Volume diário biomassa adicionada = 10 -100 dias;
  - Poder calorífico do biogás (4.45 a 5.34  $\text{Mcal}/\text{m}^3$ ).

Finalmente, importa contudo, referir que o essencial relacionado com a bioenergia para efeitos informativos foi acima referido.

### 3.1.3. Energia eólica

A energia eólica conforme foi dito acima é aquela que resulta da força do vento. O seu aproveitamento é feito desde a antiguidade a partir de barcos a vela, o conhecido moinho de vento para a captação de água, entre outras aplicações. Modernamente, a energia eólica está a sendo aproveitada para a produção de energia eléctrica com o recurso à turbinas eólicas. Existem actualmente um pouco por todo mundo em particular na Europa centrais eléctricas construídas a partir de campos eólicos.

A velocidade do vento é um parâmetro decisivo no aproveitamento eólico, por isso é recomendável que seja obedecida a altura mínima para a montagem das turbinas a partir da qual a velocidade do vento seja suficiente para garantir a potência requerida. Algumas das desvantagens da energia eólica é o perigo que os campos constituem para os pássaros, é comum os pássaros morrerem nas turbinas e a grande área ocupada pelas turbinas o que pressupõe maior gasto de materiais para a interligação do sistema.

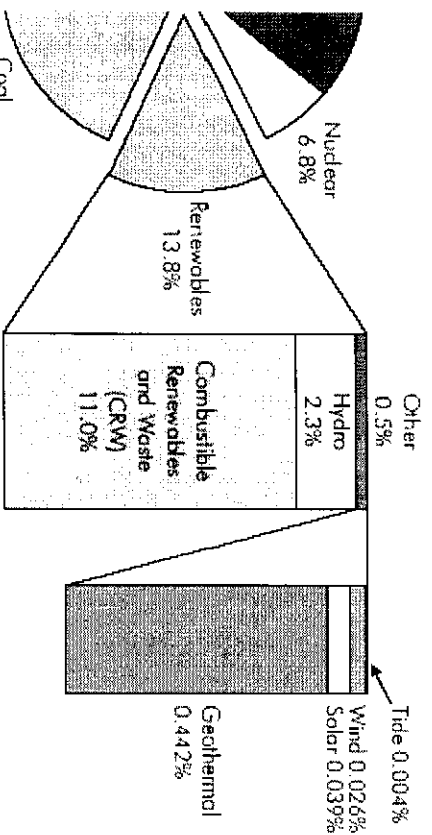


Figura 3.1.3. 1. Contribuição da energia eólica nas renováveis.

Fonte: IEA 2004

Como se pode ver no gráfico acima, a exploração da energia eólica ainda está muito longe em termos numéricos, representando até o ano 2000 a 0.026 % das fontes de energia renovável em exploração.

A construção de campos eólicos é aconselhada nas zona de ventos fortes e regulares com velocidades altas. Para a construção de um campo eólico são necessárias informações relativas ao vento de muitos anos.

### **3.1.4. Energia das ondas**

A energia das ondas é uma energia mecânica resultante da força das águas do mar. O processo de captura desse tipo de energia consiste no desvio das águas através de dunas passando por turbinas. As turbinas por sua vez accionam os geradores eléctricos, estes por sua vez fornecem energia eléctrica aos consumidores diversos.

A condição básica para o aproveitamento da energia das ondas é a localização costeira dos pais.

### **3.1.5. Energia solar**

#### **3.1.5.1. Objectivos específicos do projecto**

- Análise dos factores que determinam a quantidade de energia solar a ser capturada;
- Análise dos sistemas e dos equipamentos de captura da radiação solar;
- Elaboração de procedimentos técnicos e científicos para a análise e construção de um sistema solar de aquecimento de água em unidades sanitárias;
- Realização do balanço energético dum sistema solar de colectores planos para aquecimento da água sanitária;
- Análise da eficiência dos colectores planos;
- Avaliação económica do sistema solar;

### 3.1.5.2. Introdução

Os esforços do homem moderno resumem-se na procura cada vez mais de soluções de engenharia que possam assegurar o aproveitamento cada vez maior das chamadas energias limpas e ou renováveis como resposta aos desafios ambientais mas também como forma de reduzir a dependência externa energética. Uma dessas energias é a solar. A forma mais simples e comum de aproveitamento da energia solar é a iluminação, porém a energia solar pode ser ainda aproveitada de várias formas a partir da sua conversão com recurso à diversificadas tecnologias e princípios científicos. A energia solar pode ser convertida em: Energia eléctrica, térmica, etc. Algumas das aplicações da energia solar são: Aquecimento do ambiente, climatização, refrigeração, accionamento de máquinas, evaporação industrial, aquecimento de água sanitária, entre outras. Contudo, o aquecimento de água sanitária constitui objecto principal de estudo do presente trabalho.

O consumo de água quente nos hospitais modernos é indispensável, para a cozinha, lavanderia, esterilização, entre outras aplicações. Não obstante aos outros tipos de energia, a energia solar destaca-se como a melhor das alternativas para o efeito.

Importa, com efeito, referir que as aplicações da energia solar remontam desde os tempos antigos, tanto no aspecto prático, como teórico e acompanhado por vezes de mitos, cultos, enigmas e lendas tão próprias dos povos primitivos.

Antes de Cristo, se têm referências de aplicações da energia solar para certos fins tais como: Destilação de alguns líquidos, secagem de produtos agrícolas para efeitos de conservação, entre outras aplicações incluindo as mais dramáticas.

Vários trabalhos de pesquisa no campo da energia solar foram realizados em todo o mundo. As primeiras tentativas de medição da intensidade da radiação solar segundo [1], são atribuídas ao Matemático Claude Poillet, o qual estimou que a energia útil do sol por Jarra quadrada na superfície terrestre nos pontos situados entre os paralelos de latitude 43° Norte e sul era aproximadamente de 1 hp. Um outro homem digno de destaque no ramo das pesquisas solares é o astronauta, físico engenheiro e aeronauta americano Samuel Pierpont Langley (1834–1909). Segundo [1], Langley foi quem inventou o bolómetro, um detector da radiação do calor de grande sensibilidade que é usado para a medição da intensidade da radiação solar e do seu espectro. Existem ainda registos segundo os quais Langley terá construído uma cozinha solar.

Por isso, em homenagem à Langley, a unidade de medida da radiação solar foi atribuída a designação de Langley ( $1 \text{ Langley} = 4.186 \text{ J/cm}^2$ ) e é até hoje ainda usada. Contudo, existem registos, segundo os quais os primeiros trabalhos relacionados com colectores solares planos surgiram em 1902 e são atribuídos a H. E. Willisie e John Boyle Jr.

No presente trabalho é feita a análise dos fenómenos da radiação solar e os aspectos tecnológicos e de engenharia para a sua captura. Igualmente são estudados os colectores solares planos desde a sua concepção, construção até a sua instalação e os seus respectivos sistemas auxiliares. O controle automático com vista à optimização energética e à uma resposta selectiva do sistema também mereceu a sua análise no presente trabalho. A análise da viabilidade económica do aproveitamento solar para o caso de estudo também foi feita tomando como base os indicadores económicos do país.

Fornecer água quente a uma unidade sanitária é indispensável para as condições óptimas de operação médica, contudo, isso pode ser por vezes bastante oneroso do ponto de vista de consumo energético e consequentemente no aspecto financeiro. O recurso a energia solar para o aquecimento da água sanitária pode ser uma alternativa viável desde que sejam analisados em pormenor todos os aspectos técnicos, materiais e de exploração. Conceber um modelo de cálculo para a construção de um sistema solar para aquecimento de água sanitária em hospitais com recurso a colectores solares planos, constitui o assunto principal do presente trabalho.



## **3.2. Factores que determinam a quantidade de energia solar a ser capturada**

Dentre os factores importantes a ter em conta no aproveitamento da energia solar, os que a seguir se apresentam são os mais representativos.

### **3.2.1. Características do local de implantação do sistema**

Nas características fundamentais respeitantes ao local incluem-se: Geográficas e disponibilidade da radiação solar.

No que diz respeito á características geográficas há que considerar fundamentalmente a latitude do local de implantação enquanto que em relação a disponibilidade da radiação contam: O tipo de clima, nublado, chuvas e a altitude.

### **3.2.2. Localização do colector no local**

Depois de consideradas as questões acima referidas, outros elemento importante a ter em conta na implantação do sistema de colectores solares para o aproveitamento energético bem como para outros efeitos é a localização do colector no local de implantação do sistema. É fundamental que sejam considerados: A horizontalidade do colector em relação ao plano, o efeito das sombras das construções vizinhas, das árvores entre outros.

### **3.2.3. Orientação do colector**

Os colectores que acompanham o aparente movimento do sol captam mais energia durante todo o dia enquanto que os colectores estacionários não devido a alta reflexão da energia causada pelo movimento aparente do sol pelo espaço. O colector estacionário deverá ser instalado de modo a capturar maior parte da energia durante o dia em função das coordenadas do local de implantação.

### **3.2.4. Hora do dia**

Em geral ocorre pouca radiação solar nas primeiras horas da manhã e ao fim do dia que a que ocorre durante ao intervalo do meio dia. Com efeito, os sistemas solares devem ser dimensionados com vista a acomodar os efeitos causadas por essas diferenças na radiação solar. Um bom armazenamento do calor e uma localização óptima dos colectores pode assegurar uma captura da radiação por um período longo do dia. Por isso deve-se dar uma inclinação ao colector de modo a otimizar a captura da radiação solar e escolher-se ângulos mais adequados á cada propósito energético.

### 3.2.5. Estação do ano

A estação do verão é aquela que mais possibilidades oferece para a captura de grande quantidade da radiação solar que a do inverno. Como geralmente o período do verão é mais longo que o de inverno, então existe disponível de uma forma geral grande quantidade de radiação solar durante o ano.

### 3.2.6. Limpeza atmosférica

Quanto mais poluída estiver a atmosfera, menor é a quantidade de radiação a ser capturada, por isso os colectores instalados nas grandes cidades industrializadas, onde a atmosfera é mais poluída tem menor radiação que os colectores instalados nas zonas rurais.

Em resumo, os princípios básicos da energia solar são: A geometria solar, a intensidade da radiação solar e os factores climáticos.

### 3.3. Constante solar e componentes da radiação solar

Define se por Constante Solar a energia proveniente do sol, por unidade do tempo recebida na unidade de área da superfície perpendicular à direcção de propagação da radiação solar à distância média terra-sol fora da atmosfera.

A medição do valor exacto da Constante Solar é praticamente impossível devido à vários factores tais como: As incertezas resultantes das variações climáticas de zona para zona, A falta de equipamento de alta precisão que possam acomodar todas as variáveis que interferem no sistema solar e a falta de condições óptimas para as medições. Contudo, alguns valores são assumidos para diversos projectos solares.

[3] citam diversos autores de pesquisas na medição da Constante Solar, dos quais se destacam alguns nomes como é o caso de C. G. Abbot.

Abbot e seus colegas são tidos como autor de estudos pioneiros na medição da Constante solar. Os seus estudos de acordo com [3], indicavam o valor da Constante Solar de  $1322 \text{ W/m}^2$  valor este que posteriormente foi revisto e elevado para  $1395 \text{ W/m}^2$  por Johnson. Com o advento da tecnologia particularmente com o a disponibilidade de aviões de longo alcance em termos de altitude, balões e naves espaciais, foi possível a medição directa da radiação solar fora da atmosfera terrestre. O valor de  $1367 \text{ W/m}^2$  é adoptado pelo Centro de Radiação Solar (WRC), um organismo Norte americano criado para pesquisa no ramo em estudo e será adoptado também para o presente projecto. Importa, contudo, referir que na superfície da terra a

intensidade da radiação é menor que a Constante Solar devido aos fenómenos de absorção e espalhamento pela atmosfera terrestre.

Na terra ocorrem os seguintes tipos de radiação: Directa, difusa e reflectida.

Radiação directa é aquela que é recebida directamente do sol.

Radiação difusa é aquela que é recebida de todas as direcções do Céu devido ao espalhamento e reflexão pelas partículas atmosféricas. A incidência normal da radiação solar é sujeita a mudança devido à variação da distância terra-sol, vapor de água, espalhamento pelas moléculas de ar e sujidade a pela absorção atmosférica pelo Oxigénio, Ozono, água e Dióxido de carbono.

Porque a humidade e a altitude locais podem variar de forma marcada do nível médio do mar, o conceito de número de clareza foi introduzido para expressar a razão entre a actual intensidade de radiação num específico local e a intensidade calculada dada pelas condições atmosféricas normais no mesmo local e na mesma data, [4].

A geometria solar faz parte como foi acima referido dos princípios básicos da energia solar. No que diz respeito a geometria solar são fundamentais os seguintes factores a considerar: Declinação, latitude do local e o hora angular, pois o ângulo através do qual a radiação solar directa atinge a superfície da terra é bastante influenciado estes factores e por outros.

A declinação solar é definida de acordo com [4] como sendo a posição angular aparente do sol ao meio dia em relação ao plano do equador. A declinação é causada pela inclinação em cerca de  $\pm 23.45^\circ$  do eixo da terra da vertical ao plano orbital da terra.

A influência da latitude sobre a radiação solar está na posição solar e especificamente na chamada altitude solar. O seguinte exemplo tirado do livro de Myers indica que se a data for 21 de Setembro e a hora for 12:00h (meio dia) alguém que esteja a  $40^\circ$  de latitude Norte, o sol tem apenas  $50^\circ$  de horizonte, porém para alguém que esteja no equador o horizonte do sol é de  $90^\circ$ , isto é, o sol aparece directamente acima da cabeça.

### **3.4. Planeamento do local para a exploração da energia solar**

Uma das fazes a ter em conta no projecto de sistemas de exploração da energia solar é a do planeamento do local de implantação do equipamento. Uma boa planificação selecção do local para a exploração da energia solar pressupões acima de tudo uma boa combinação entre factores tais como: A vegetação, o clima , a geologia e a

topografia do local em questão. Importa, com, efeito salientar que o planeamento físico do local é direccionado á dois objectivos fundamentais, o acesso ao sol e a localização das construções no local de modo a reduzir as suas necessidades energéticas.

### **3.4.1. Selecção do local**

Dentre os vários factores base a ter em conta para uma boa selecção do local onde deverão ser implantados os colectores da energia solar é necessário considerar os que a seguir se indicam:

**Factores geográficos** da área a volta do local, que compreendem: A trajectória aparente diária e sazonal do sol através do local, as amostras diárias ou sazonais do fluxo do vento a volta ou através do local, a presença de barreiras terrestres da radiação solar e vento e a presença no local de áreas baixas onde o ar frio pode estabelecer-se.

**Factores topográficos** isto é, aqueles que consideram o estado dos declives se estão ou não na forma de precipício e se a estrutura pode ser ou não montada economicamente no local.

**Factores que consideram a orientação dos declives no local** , estes factores tem uma especial importância, na medida em que permitem definir uma orientação óptima dos colectores para a melhor captura da radiação solar, pois dependendo da latitude do local existem declives que permitem máxima exposição ao sol do colector dependendo do período se é de manhã ou a tarde, e aqueles que permitem a mínima exposição do colector ao sol independentemente de ser de manhã ou a tarde.

**Factores geológicos** aqueles que tomam em consideração o tipo e profundidade das rochas e as áreas não construíveis no local.

**A existência de potenciais constrangimentos associados ao tipo de solo**, avaliam a ocorrência de solo com limitações de engenharia no que concerne a capacidade do solo em suportar as estruturas, ocorrência de solos com limitações agrícola, isto é, solos incapazes de suportar a vegetação.

**Existência de vegetação**, sua medida, variedade e localização se pode ou não prejudicar a captura da radiação solar, por outro, lado se as construção a ser feita prejudicar a vegetação já existente no local e finalmente é necessário avaliar a dimensão e variedade da vegetação que favoreça a conservação de energia, por exemplo vegetação que reduz a intensidade do vento no local, contribuindo desta forma para reduzir as perdas de energia devido a convecção natural.

Outro factor a ter em conta na selecção do local é a existência ou não de áreas climaticamente cobertas no local em certos períodos do dia ou do ano quer pela vegetação ou pela topografia.

É necessário verificar a existência de locais climaticamente expostos quer ao sol ou ao vento no local nas diferentes estações do ano ou em todo ano.

É necessário também ter em poder informações sobre a radiação solar diária, mensal, sazonal e anual bem como impedimentos tais como sombras que cobrem o local.

É de igual modo importante possuir informações relacionadas com os registos de temperatura, velocidade do vento, precipitação de drenagem das águas, entre outros factores.

Para a escolha definitiva do local exacto para a implantação do equipamento solar depois de considerados todos ou grande parte dos factores acima referidos, é necessário fazer se um estudo das várias superfícies do local para absorção e reflexão da radiação.

### **3.5. Componentes de um sistema solar**

Os sistemas solares activos são divididos em três intervalos de temperatura requerida. De baixa temperatura, média e alta temperatura. Existem outros critérios de classificação tais como a orientação, função a que se destina entre outros. Com efeito, os componentes do sistema serão uma função do tipo do sistema em questão.

#### **3.5.1. Tipos de colectores solares**

Para a produção de água quente, os colectores solares são classificados de acordo com os seguintes critérios: Geometria, orientação e o fluido de transferência de calor.

Quanto a geometria, os colectores podem ser: Colectores planos e parabólicos (concentradores).

Quanto a orientação, os colectores solares podem ser: Estacionários e móveis. Por sua vez os colectores móveis podem ser: Móveis em relação á apenas um eixo e em relação á dois eixos.

De salientar que os colectores móveis são concebidos de forma que possam seguir a trajetória aparente do sol com vista a garantir a máxima captura da radiação solar.

Quanto ao fluido de transferência de calor existem colectores a ar, colectores a colectores a água, colectores á solução de sais, colectores solução de Glucose entre outros.

O colectores mais comuns em sistema de aquecimento de água sanitária são os estacionários sendo os colectores planos os mais usados e baratos, razão pela qual para o presente trabalho, este tipo de colectores serão objecto de estudo pormenorizado.

### **3.5.2. Colectores planos**

Os elementos principais que compõem os colectores planos são:

A **caixa externa** que suporta os componentes do colector juntos e protege o colector dos agentes atmosféricos. A caixa deverá como todos os outros componentes resistir à corrosão e a acção dos ventos para o que a selecção do material da caixa deverá ser feita tendo em vista à essas objectivos.

**Placa de absorção** responsável pela absorção da radiação solar, constitui um dos elementos chave de todo o sistema. A placa solar pode ser feita de Aço, Alumínio, Cobre ou ainda plástico. A placa de absorção deve conter passagens do fluxo para que o fluído de trabalho transfira livremente o calor absorvido.

**Cobertura transparente** pode ser de vidro ou outros materiais desde que tenham um transparência próxima ou maior que de 90%, a placa pode ser montado em número de apenas uma, ou duas ou mais com o objectivo de reduzir as perdas de calor por radiação e por convecção. As placas de vidro deverão ser tais que resistam as intempéries e à pressão do vento bem como garantam a estanquidade do sistema.

**Isolamento** deverá possuir elevada resistência térmica e alta qualidade de modo que as suas propriedades não sejam bastante afectadas com a variação da temperatura. O isolamento é usado para reduzir as perdas de calor por condução e os materiais geralmente usados para este efeito são: Fibra de vidro, aglomerado de cortiça, lâ de vidro ou de cortiça, etc.

Para além dos componentes acima indicados, existem os que se chamam por componentes do subsistema do sistema solar, os quais serão objecto de análise na secção 3.4.7 do presente capítulo.

### **3.5.3. Teste de colectores**

Existem testes que devem ser feitos ao colector e ao sistema solar em geral. Os testes ao colector são feitos pelo fabricante com vista a produzir catálogos do produto. O testes a ser feito podem ser: De eficiência, de resistência do material, de pressão, de estanquidade entre outros. O tempo de vida do sistema solar deverá ser de pelo

menos 10 anos como indicam vários autores da área para que o sistema solar seja economicamente viável.

Os testes do sistema a serem feitos depois da implantação compreendem: Verificação da eficiência, testes de pressão, estanquidade, de circulação, entre outros.

### **3.5.4. Corrosão em colectores**

A corrosão é um fenómeno bastante nocivo em quase todo o tipo de equipamento industrial, quer do ponto de vista da degradação do material, quer do ponto de vista económico. A humidade e temperaturas elevadas são fortes causas de corrosão nos metais. Um sistema solar para que possa resistir aos efeitos da corrosão os seus componentes deverão ser fabricados de materiais resistentes à corrosão. Outras providência com vista a minimizar os efeitos da corrosão deverão ser tomados, como é o caso do tratamento de água.

### **3.5.5. Armazenamento de calor**

Uma das partes não menos importantes é o armazenamento do calor. Como é sabido, o sol não está disponível em todas as horas do dia, o significa que para se ter água quente no período nocturno e em horas de fraca insolação, é necessário prever um sistema de armazenamento no projecto de um sistema solar.

O armazenamento pode ser feito para curto, médio e longo períodos basta para tal escolher a tecnologia adequada à cada caso. Com efeito, importa referir que o armazenamento à longo termo revela-se caro em relação aos outros dois tipo pelo que o presente trabalho será direccionado ao armazenamento à curto prazo.

Para o armazenamento de calor a curto prazo podem ser usadas as tecnologias tais como: Caixa de Pedras, "Cama" de terra e tanques de água todas para calor sensível.

Para o armazenamento de calor latente à curto prazo usam se tecnologias tais como: Materiais orgânicos, hidratos de sais entre outros.

Os conceitos de armazenamento de calor sensível e de calor latente são de especial importância na medida em que em função da situação real é possível escolher entre os métodos a seguir para o armazenamento de calor.

Existem equipamentos que permite armazenar apenas o calor sensível e outros que permitem armazenar o calor latente.

Os dispositivos que permitem armazenar calor sensível são os mais difundidos em sistemas solares activos.

A quantidade de energia armazenada por dispositivos de armazenamento de calor sensível é proporcional ao produto da diferença de temperatura entre o fluido de entrada e de saída do dispositivo, do calor específico a pressão constante e da massa do meios particular usado ( fluido de trabalho).

Para sistemas em que o fluido de trabalho é um líquido, usa-se para armazenamento do calor água ou óleos e para o caso em que o fluido de trabalho é o ar, usam-se para efeitos de armazenamento plataforma de pedras.

Para o presente projecto será usado na qualidade de fluido de trabalho a água no estado líquido, e como sistema de armazenamento um tanque de água.

### **3.5.6. Subsistemas de um sistema solar**

Os componentes de um subsistema do sistema solar para aproveitamento activo são fundamentalmente os seguintes:

- Permutador de calor;
- Sistemas de controle;
- Tubagem;
- Válvulas diversas;
- Sistema de segurança;
- Bombas de elevação e de circulação, entre outros.

O Permutador de calor tem como função transferir parte da energia proveniente do colector para o fluido de utilização. Este deverá ser projectado de acordo com todos os princípios de modo a assegurar a maior transferência de calor entre os fluidos de trabalho e de utilização. De igual forma de verão ser seleccionados materiais que melhor se adequarem às condições a que o dispositivos se destina ou seja deverá pelo menos ser construído com recurso á materiais termo resistentes e resistentes á pressão.

Qualquer sistema de engenharia sem um controle sobre os parâmetros característicos deste não pode ser eficiente nem funcional. Num sistema solar um controlo é de capital importância pois este assegura o funcionamento automatizado do sistema garantindo desta forma longa vinda ao equipamento, elevada eficiência, um uso cada vez mais racional da energia capturada do sol, entre outras vantagens.

O meio pelo qual o fluido de trabalho circula desde o colector solar até ao trocador de calor e deste até aos pontos de consumo da energia capturada é composto por tubos diversos. É recomendável uma escolha de um óptimo "layout" para os tubos desde o



colector até aos pontos de consumo. No colector existem disposições óptimas para os tubos que devem ser usadas, com efeito, deve se tomar sempre como a melhor disposição aquela que garante a circulação livre do fluido de trabalho, isto é com o mínimo de perdas de carga possível. Os materiais e dimensões dos tubos deverão ser tais que resistam as pressões e temperaturas do sistema e com muita frequência é usado o cobre e pode ser usado também o aço bem como outros materiais desde que satisfaçam os devidos requisitos. Para unir os tubos existem no mercado diversas variedades de uniões, desde as flexíveis bem como as simples a ser efectuadas por soldadura. É fundamental também que nas uniões entre tubos sejam aplicados materiais de vedação se for necessário de modo a assegurar a estanquidade.

Os elementos que actuam directamente sobre o fluxo do fluido de trabalho são as válvulas, estas garantem a segurança do sistema, a regulação do caudal necessário, isolamentos, etc. As válvulas a serem usadas num sistema solar deverão ser seleccionadas de acordo com a função a que se destina e de acordo com as condições atmosféricas a que estarão sujeitas. Num sistema solar deve se ter presente válvulas de passagem, de isolamento, de segurança, de retenção entre outras.

Um sistema de segurança num sistema solar é de particular importância na medida em que garante vida ao equipamento e oferece segurança aos utentes do sistema solar. Um sistema de segurança num sistema de exploração da energia solar deverá ser tal que actue dentro dos valores definidos pelo projectista. É fundamental que seja previsto um sistema alternativo para casos de avaria do sistema principal. Um sistema de segurança inclui: Os dispositivos de controle, válvulas de segurança, alarmes entre outros.

Para que o fluido de trabalho circule com a pressão desejada entre os diversos componentes do equipamento de exploração da energia solar, deverá possuir bombas desde que a disposição de todos os outros componentes o exija. Importa, com efeito, referir que existem sistemas não pressurizados que não necessitam de bombas para a circulação do fluido, estes sistemas têm a designação de sistemas termocifão.

As bombas deverão satisfazer os requisitos para o fim a que se destinam e termos de pressão, potência, etc. e deverão ser fabricados de materiais e dimensões que possam suportar as temperaturas e pressões do sistema.

### **3.6. Materiais**

Os materiais normalmente utilizados nos sistemas solares de produção de água quente são:

- Placa de absorção: Placa metálica (Cobre, Aço, etc.) pintada de cor negra ou Polipropileno;
- Cobertura transparente: Vidro temperado ou acrílicos;
- Isolamento: Fibra de vidro, lã de rocha, poliuretano, etc.;
- Serpentina e tubos: Cobre e aço inox respectivamente;
- Caixa de exterior de suporte: Alumínio anodizado.

### **3.7. Aproveitamento solar fotovoltaico**

#### **Introdução**

Uma das formas na qual a energia solar é aproveitada e merece um especial destaque é a fotovoltaica. A electricidade é a forma mais comum de utilização de energia na actualidade devido à suas inúmeras vantagens, tais como: Conveniência, versatilidade, segurança, e o seu uso tende cada vez mais a crescer. A forma mais comum de produção de electricidade é através de turbinas mecânicas as quais accionam alternadores ou geradores de corrente contínua que geram a electricidade. Nesses casos a fonte primária de energia podem ser águas dos rios acumuladas em barragens, os combustíveis fósseis que são queimados produzindo vapor que por sua é canalizado às turbinas como fluido de trabalho. Contudo, a energia solar também pode ser convertida em electricidade por cinco vias:

A primeira é o recurso à uma camada superior aquecida e uma outra camada baixa, profunda e fria dos oceanos para operar máquina térmicas de baixo diferencial de temperatura. Outra via é a eólica, pois o vento é resultado da energia solar como fonte primária. O vento é aproveitado como é descrito na secção 3.1.3. A terceira via é o aproveitamento da energia solar por meio da fotossíntese para o cultivo das plantas que posteriormente podem ser usadas como combustível para a produção de vapor que por sua vez accionam as turbinas de vapor para a produção da electricidade. A quarta forma é o uso de colectores de cogeração para aquecer o fluido que podem ser usados para operar máquinas térmicas que por sua vez accionam geradores de electricidade e a última via é conversão directa dos raios solares em electricidade com o recurso de painéis fotovoltaicos ou células solares.

### **3.7. O essencial do aproveitamento fotovoltaico**

Uma célula solar é um dispositivo que converte directamente a luz solar em electricidade. As células solares são fabricadas de materiais semicondutores como por exemplo o Silício.

As células fotovoltaicas são geralmente agrupadas para aumentar a sua potência formando assim uma central solar. Um conjunto de baterias é usado para acumular a energia capturada.

As características principais dos painéis solares são: A corrente, a potência eléctrica, a tensão nominal e as suas dimensões (comprimento, largura e área).

Para projectar um sistema fotovoltaico devem ser considerados os seguintes aspectos:

#### ***Naturais***

A quantidade de luz solar, dias de pouca luz, o clima frio afecta as baterias, etc.

#### ***Projectivos***

Baixa insolação do que a prevista, Maior carga do a prevista, paralisações devidas a falta de manutenção, etc.

#### ***Falhas devidas ao equipamento***

Falhas de ligações, circuito aberto, degradação óptica, problemas de baterias, etc.

Finalmente, importa referir que a energia solar fotovoltaica pode ser explorada individualmente em casa e em edifícios bem como em grandes centrais e uma das maiores valias desta forma de aproveitamento é a possibilidade de garantir electricidade em zonas remotas.

O recurso à esse tipo de aproveitamento é aconselhável para o nosso país que maioritariamente é rural.

## **Bibliografia**

1. [www.worldenergy.org](http://www.worldenergy.org);
2. [www.iea.org](http://www.iea.org);
3. [www.eurorex.com](http://www.eurorex.com);
4. John A. Duffie e William A. Beckman. Solar Engineering of Thermal Process. 2nd
5. John D. Myers. Solar Applications in Industry and Commerce. Prentice-Hall, Inc
6. Jorge Cruz Costa e Eduardo Perez Leberna, 1996, Lisboa;
7. Fátima Arthur, 2005;
8. Pedro Portillo. Energia Solar. Ediciones Pirámide, Madrid, 1985;

## **4. Caso de estudo: Aproveitamento solar para aquecimento de água sanitária em hospitais**

### **4.1. Modelo Matemático para o cálculo do sistema solar**

#### ***Pressupostos***

*Os colectores serão do tipo plano;*

*O fluido de trabalho será água;*

*A construção do colector é em chapa e tubos paralelos;*

*A cabeça da cobertura possui um área pequena, por isso pode ser desprezada;*

*A queda de temperatura através da cobertura é desprezível;*

*A cobertura é opaca para a radiação infravermelha;*

*As propriedades dos materiais são independentes da temperatura;*

*As perdas no topo e na base são estão na base da mesma temperatura ambiente;*

*As sombras da placa de absorção são desprezíveis;*

No presente modelo de cálculo serão sucessivamente tratados os seguintes assuntos:

O cálculo da radiação solar disponível, características de radiação dos materiais, transmissão da radiação através de materiais transparentes, a radiação absorvida, aspectos energéticos e técnicos dos colectores planos, a equação de balanço energético, área do colector, número de colectores, a eficiência do colector, entre outros para um sistema localizado na cidade de Maputo.

#### **4.1.1. Radiação solar disponível e sua medição**

Em qualquer projecto de aproveitamento da energia solar é indispensável o recurso á dados meteorológicos, os quais são geralmente fornecidos por entidades meteorológicas de cada país. Dentre os dados importantes em projecto de aproveitamento da energia solar inclui-se a radiação solar disponível, a qual deve ser medida com o maior cuidado possível de modo a que o uso dos valores fornecidos não transmita erros em projectos.

Os dados da radiação solar estão disponíveis em diversificadas formas. Diversos instrumentos de precisão apreciável para a medição da radiação solar foram desenvolvidos em todo mundo.

Importa, com efeito, referir que o maior número de dados disponíveis da radiação solar, é o da radiação directa e difusa em superfície horizontal por hora. Para adequar os dados que são geralmente fornecidos á situações concretas de exploração da energia

solar, é necessário desenvolver se um cálculo elaborado como a diante apresentado será o cálculo para superfície inclinadas, já que de acordo com a topografia e a latitude do local de implantação dos colectores é necessário encontrar um determinado ângulo de orientação do colector de modo a tirar o maior proveito da energia solar.

Como já foi referido em capítulos anteriores, diversos factores interferem no valor final da radiação que é capturada e todos eles devem ser considerados em projectos solares.

Os instrumentos que são usados para medir a radiação directa com incidência normal são os Pireliómetros e para medir a radiação hemisférica global, isto é, a soma da radiação directa e difusa usam-se os Piranómetros.

Existem disponíveis em quase todos países do mundo dados referentes a radiação disponíveis para os diversos utentes.

#### 4.1.2. Radiação solar em superfícies inclinadas

O estudo da radiação solar em superfícies inclinadas obedece de acordo com [3] dois casos a saber: Radiação solar em superfícies inclinadas para Céu isotrópico e radiação solar em superfícies inclinadas para Céu anisotrópico. O último caso é o mais conveniente para uma melhor precisão, pois reduz as aproximações da radiação total assumidas pelo primeiro caso (Céu isotrópico) [3]. Para o presente projecto, será seguido o método de Hay e Davies, o qual de acordo com [3] é baseado no princípio de que toda a radiação difusa pode ser representada por duas partes, a isotrópica e circumsolar.

A expressão a seguir a qual, segundo [3] representa o modelo combinado de Hay, Davies, Klucher e Reindl (HDKR) pode ser usada para representar a radiação total numa superfície inclinada:

$$I_t = (I_d + I_{df} A_i) R_b + I_{df} (1 - A_i) \left[ \frac{1 + \cos \beta}{2} \right] \left[ 1 + f_{Ser}^3 \left( \frac{\beta}{2} \right) \right] + I_{p_s} \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad 4.1$$

Onde:

$I_d$  representa a radiação directa, pode ser fornecida por instituição meteorológica do local onde é efectuado o estudo ou do local de implantação do sistema;

$I_{df}$  representa a radiação difusa do local, também pode ser fornecida ou medida num longo intervalo de tempo;

$A_i$  representa o índice de anisotropia o qual é uma função das condições atmosféricas para a radiação directa e pode ser calculado pela expressão que se segue:

$$A_i = \frac{I_d}{I_0} \quad 4.2$$

$R_b$  é a razão da radiação directa num plano inclinado em relação a do plano de medição da radiação que é geralmente horizontal, o seu cálculo é mostrado na Equação 4.5 ;

$f$  é o factor de modelação, o qual pode ser dado pela expressão seguinte:

$$f = \sqrt{\frac{I_d}{I}} \quad 4.3$$

Na expressão acima,  $I$  é a radiação global no local de implantação do sistema, isto é, a soma da radiação directa e difusa.

$\beta$  é o ângulo de inclinação da superfície de captura em relação à horizontal, pode ser calculado como sendo igual a latitude do local menos 5° como indicam diversos autores, com efeito, importa referir que uma variação em mais ou menos 20° não afecta em grande medida a eficiência do colector, Jorge [5].

$\rho$  é a Reflectância atmosférica a qual deve ser dada para cada local de implantação do sistema solar.

Vários outros métodos podem ser usados para estimar a radiação solar de um lugar, desde aqueles que usam os valores horários até aos que usam valores médios mensais ou diários, contudo, a escolha do método depende dentre os vários factores a ter em conta, a precisão requerida e de acordo com o nível de importância da instalação. Em função dos dados disponíveis, outros métodos mais simplificados podem ser usados para estimar a radiação, para o presente caso de estudo, a informação disponível é da radiação solar global em superfície horizontal. Porém para o maior aproveitamento solar durante todas as estações do ano, os colectores devem ser inclinados num ângulo  $\beta$ , pelo que a seguinte expressão tirada do livro de [3] pode ser usada, a qual relaciona a radiação global e a radiação numa superfície inclinada.

$$R = \frac{I_t}{I} \quad 4.4$$

Para efeitos práticos, [3] referem que o factor geométrico ( $R_b$ ) entre a radiação directa numa superfície inclinada e a radiação directa numa superfície horizontal pode ser igualado ao factor geométrico para as radiações globais isto é:  $R_b = R$ , já que em geral a radiação directa é mais predominante.

O factor  $R_b$ , para zonas do polo sul de acordo com [3], pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$R_b = \frac{\cos(\phi + \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\phi + \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta} \quad 4.5$$

Da Expressão 4.1.2.4 e tendo em conta ao pressuposto de [3], a radiação numa superfície inclinada será dada pela expressão seguinte:

$$I_i = I * R_b \quad 4.6$$

Onde:  $\delta$  é a declinação solar e pode ser calculada com a ajuda da equação de Cooper segundo [3], como a seguir se indica:

$$\delta = 23.45 * \sin \left( 360 * \frac{284 + n}{365} \right) \quad 4.7$$

n representa o dia o mês em questão;

$\phi$  é a latitude do local, para a cidade de Maputo pode se aceitar 25.95°;

$\beta$  é a inclinação do colector virado para o norte ou nordeste em relação a horizontal, pode ser calculado por:  $\beta = \phi - 5^\circ$  ;

$\omega$  é a hora angular, igual ao produto  $0.25 * \text{Minutos}$  antes ou depois do meio dia solar, sendo negativo quando a referência é antes do meio dia solar e positivo quando a referência é depois do meio dia solar.



A radiação solar calculada pela expressão 4.1.2.6 é dada em MJ/m<sup>2</sup> na base horária. Porém, o INAM fornece a radiação global em W/m<sup>2</sup> a qual designa-se por G e calcular-se-á pela expressão seguinte:

$$G_t = G * R_b \quad 4.8$$

Todos os cálculos dos parâmetros acima indicados podem ser vistos no mapa geral de cálculos de insolação nos anexos com o número 4.1.2.1.

#### 4.1.3. Características de radiação dos materiais

Para grande parte dos cálculos de energia solar, apenas duas quantidades são mais importantes, a Absorviência e a Emissividade de raios infravermelhos, [3].

A **Absorviência** do material define-se como sendo a fracção da radiação incidente de comprimento de onda  $\lambda$  da direcção  $\mu$ ,  $\phi$  onde,  $\mu$  é o coseno do ângulo e  $\phi$  é ângulo azimutal. Na forma matemática, a Absorviência pode ser expressa como se segue:

$$\alpha_\lambda(\mu, \phi) = \frac{I_{\lambda, a}(\mu, \phi)}{I_{\lambda, i}(\mu, \phi)} \quad 4.9$$

Para todo comprimento de onda a absorviência pode ser dada pela expressão que se segue:

$$\alpha(\mu, \phi) = \frac{1}{I_i(\mu, \phi)} \int_0^\infty \alpha_\lambda(\mu, \phi) I_{\lambda, i}(\mu, \phi) \lambda d\lambda \quad 4.10$$

Por outro lado a **Emissividade** de um material é definida como sendo a razão entre a intensidade da radiação monocromática emitida por uma superfície numa direcção definida e a intensidade da radiação monocromática que seria emitida por um corpo negro à mesma temperatura e pode ser dada pela expressão que se segue:

$$\varepsilon_\lambda(\mu, \phi) = \frac{I_\lambda(\mu, \phi)}{I_{\lambda b}} \quad 4.11$$

Para todo comprimento de onda a Emissividade pode ser dada pela expressão que se segue:

$$\varepsilon(\mu, \phi) = \frac{1}{I_d} \int_0^{\infty} \varepsilon_{\lambda}(\mu, \phi) I_{\lambda d} d\lambda \quad 4.12$$

As expressões da Absorviência e da Emissividade apresentadas acima sugerem que é necessário que sejam conhecidas as funções dessas grandezas em relação a um comprimento de onda e a uma direcção dada.

Contudo, é suficiente conhecer apenas uma das propriedades da radiação, as outras podem ser expressas em função da conhecida, pois ambas as propriedades de radiação estão entre si relacionadas. É importante notar que as propriedades de radiação dos materiais em sistemas solares são fortemente afectadas por vários factores dentre os quais, o ângulo de incidência e o comprimento de onda.

Para uma cobertura de cor preta cromada em Níquel, ensaios conduzidos por Lin em 1977, de acordo com [3] mostraram variação da Reflectância como mostra a figura 4.1.3.1 dos anexos.

A Absorviência varia também como foi antes referido, com o ângulo de incidência, a figura 4.1.3.2 dos anexos mostra a variação da razão entre a Absorviência e a absorviência normal com o ângulo de incidência. Finalmente, de referir que as propriedades de radiação dos materiais deverão ser extraídas das tabelas e diagramas tendo em conta a sua variação com os factores acima referidos.

#### **4.1.4. Transmissão da radiação através de materiais transparentes**

A transmissão, reflexão e absorção da radiação solar por várias partes do colector solar são importantes na determinação da eficiência do colector, [3]. Ainda segundo estes, a Transmittância, Reflectância e a Absorviência são funções da radiação penetrante, espessura do material de cobertura, índice de refração (n) e do chamado coeficiente de extinção (K) do material.

Na figura 4.1.4.1 dos anexos podem ser vistos os valores da Transmittância em função do ângulo de incidência para diferentes números de placas cobertoras com o índice de refração de 1.526. Por sua vez o índice de refração é apresentado na tabela 4.1.4.1 dos anexos para diferentes materiais.

A Transmittância e a Absorviência do conjunto cobertura - placa de absorção podem ser agrupados em forma de produto ( $\tau\alpha$ ). De acordo com [3], o produto ( $\tau\alpha$ ) pode ser calculado pela expressão que se segue:

$$(\tau\alpha) = \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha)\rho_{df}} \quad 4.13$$

De referir que o produto ( $\tau\alpha$ ) deverá ser entendido como o símbolo representativo da propriedade combinada da cobertura-absorvidor em lugar do produto de duas propriedades. Em lugar da expressão 4.1.4.1, [3] admitem que pode ser usada a expressão aproximada que a seguir se apresenta:

$$(\tau\alpha) = 1.01\tau\alpha \quad 4.14$$

A dependência angular do produto ( $\tau\alpha$ ) pode ser vista na figura 4.1.4.2 dos anexos.

#### 4.1.5. Radiação solar absorvida

Para prever a eficiência do colector, requer contudo estar em posse de informações sobre a energia solar absorvida pela placa de absorção. A abordagem que deve ser feita sobre a energia solar absorvida depende de vários factores já antes referidos da orientação do colector. A energia solar incidente em colectores inclinados pode ser estimada com recurso ao modelo apresentado na secção 4.1.2.

Dos capítulos precedentes, depreende-se que a radiação incidente possui três distribuições espaciais diferentes: Radiação directa, radiação difusa e radiação reflectida. Com efeito, cada um destes tipos deverá ser tratado como um caso separado de formas que se tenha uma abordagem mais aprofundada. De acordo com [3], os detalhes de cálculo para cada caso dependem do modelo seguido em função da classificação que é assumida do céu difuso se é isotrópico ou anisotrópico.

A radiação solar absorvida pode ser calculada com o recurso a expressão que se segue proposta por [3] no seguimento do modelo de HDKR:

$$S = (I_d + I_{df}A_f)R_a(\tau\alpha)_d + I_{df}(1 - A_f)(\tau\alpha)_{df} \left[ \frac{1 + \cos\beta}{2} \right] + I_{Sen} \left( \frac{\beta}{2} \right) + I_{p_g}(\tau\alpha)_g \left( \frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad 4.15$$

A expressão acima é de precisão elevada, contudo, dados de insolação disponíveis são os de radiação global o que sugere o cálculo aproximado da radiação solar absorvida com o recurso a expressão:

$$S = (\tau\alpha)_{med} I_t \quad 4.16$$

Onde  $I_t$  é a radiação solar calculada com base na Expressão 4.6.

De acordo com [3], a Expressão (4.16) é conveniente quando medições directas da radiação solar incidente em superfícies inclinadas  $I_t$  estão disponíveis. Ainda segundo [3], Quando a fracção da radiação directa é elevada, o produto  $(\tau\alpha)_d$  é próximo do valor de  $(\tau\alpha)_{med}$ .

Para aplicações práticas, é suficiente estimar o produto  $(\tau\alpha)_{med}$  em relação a produto  $(\tau\alpha)_d$  a seguir se indica na Expressão 4.17:

$$(\tau\alpha)_{med} \cong 0.96(\tau\alpha)_d \quad 4.17$$

O uso da relação acima (4.17) justifica se pelo facto de na prática o mais alto ganho de energia pelo colector solar verificar se quando a radiação directa é elevada.

As expressões apresentadas nas secções precedente 4.1.2., 4.1.3 e 4.1.4 e 4.1.5 servem de base para estimar a radiação horária absorvida por uma placa colectora inclinada, que é o caso comum dos sistemas solares de aquecimento de água sanitária e em particular do presente caso de estudo. Com efeito, de acordo com o modelo de cálculo acima apresentado, fica uma vez mais claro que é suficiente ter-se em posse no projecto do sistema solar as informações sobre a radiação solar incidente ou global, a latitude do local, propriedades atmosféricas do local e as propriedades de radiação do material de cobertura e da placa de absorção. A unidade da radiação solar incidente calculada com a ajuda da Expressão 4.16 é o  $J/m^2$  ou  $MJ/m^2$  na base horária.

Para se ter o valor da radiação solar incidente em  $W/m^2$  é necessário dividir a radiação incidente da Expressão 4.16 por 3600 ou usar-se-á na mesma expressão ao em vez de  $I_t$  o valor de  $G_t$  que é dado em  $W/m^2$ . Desta forma, a radiação solar absorvida será por aproximação para efeitos práticos calculada pela expressão que se segue:

$$S = (\tau\alpha)_{méd} * G_i$$

4.18

A tarefa final do projecto resume-se ao cálculo do número de colectores depois de conhecida a necessidade em termos de potência e as perdas de calor no colector, no reservatório e nos tubos, como a diante será mostrado.

#### 4.1.6. Colector plano e sua caracterização

Colector solar é um tipo especial de trocador de calor que transforma a energia solar radiante em calor, [3]. Ainda segundo [3], a radiação solar incidente é na melhor aproximação de cerca de **1100 W/m<sup>2</sup>** (sem concentração óptica) e esta é variável em função da latitude e de outros factores já antes referidos em capítulos precedentes.

Para as necessidades energéticas à temperaturas moderadas, os colectores planos são bastante cómodos, esses têm a vantagem de não usar ambos tipos de radiação, directa e difusa, não necessitam de acompanhar a trajectória do sol e requerem pouca manutenção. A figura a seguir mostra um colector solar plano e os seus respectivos componentes.

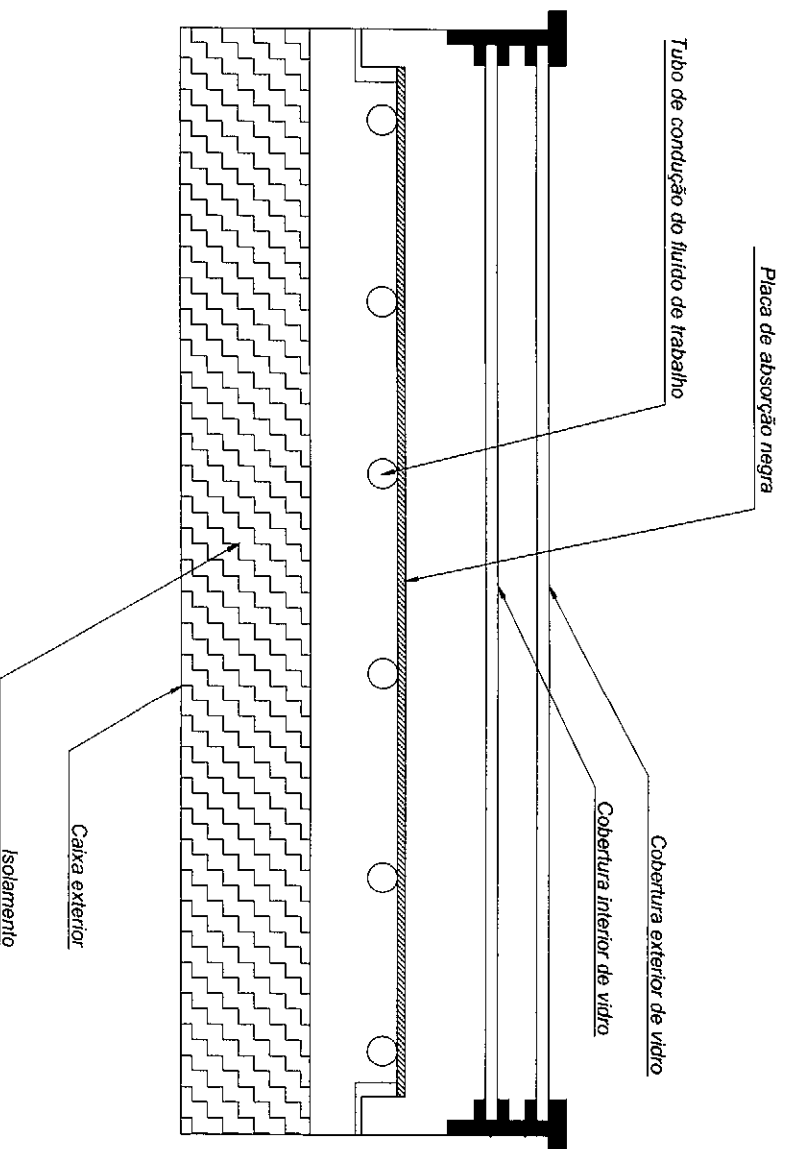


Figura 4.1.6.1. Colector plano e os seus componentes básicos

Um colector plano comum é composto por seguintes elementos:

- Placa de absorção;
- Tubos;
- Placa de cobertura;
- Isolamento;
- Corpo.

#### 4.1.6.1. Equação de balanço energético para o colector solar plano

A eficiência do colector solar é descrita pelo balanço energético, o qual indica a distribuição da energia solar incidente relativamente ao ganho energético, perdas térmicas e ópticas.

Para um colector solar com área útil  $A_c$ , a energia útil capturada pode ser dada pela expressão que se segue:

$$Q_u = A_c [S - U_L (T_{pm} - T_a)] \quad 4.19$$

A dificuldade no uso da Equação 4.19 reside de acordo com [3], no facto de se revelar difícil estimar ou medir a temperatura média da placa de absorção desde que se tenha em conta que esta é uma função do projecto do colector, da radiação solar incidente e da condições do fluido a entrada do colector. Devido às dificuldades no uso da Equação 4.19 acima referidas, esta equação é reformulada de modo que a energia útil seja expressa em termos da temperatura do fluido a entrada. Contudo, um factor chamado factor de remoção de calor  $F_R$  deverá ser introduzido na equação. O factor de remoção de calor pode ser desenvolvido analiticamente como é mostrado na secção 4.3.6.4. Desta forma a expressão de energia útil pode ser escrita como se segue:

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_i - T_a)] \quad 4.20$$

#### 4.1.6.2. Coeficiente global de perdas de calor do colector

É fundamental que se desenvolva o conceito de coeficiente global de perdas de calor para simplificar os cálculos matemáticos, para isso é necessário que seja definido um modelo físico que corresponda à situação real do colector em estudo. As perdas de calor num colector solar estão divididas em:

Perdas por **radiação** e **convecção** na parte superior do colector, isto é, entre a placa negra de absorção e a cobertura transparente e por último entre a cobertura e o meio ambiente (ar). As perdas de calor por condução no isolamento da parte inferior do colector, as perdas de calor por convecção entre a base e o ambiente, as perdas de calor no corpo do colector e as perdas de calor por condução na base. O coeficiente global de perdas de calor deverá ser a soma de todos os coeficientes: Do topo, da base e do corpo do colector.

A seguir apresenta-se o modelo físico adaptado do livro de [3] o qual servirá de base para o cálculo do coeficiente global de perda de calor.

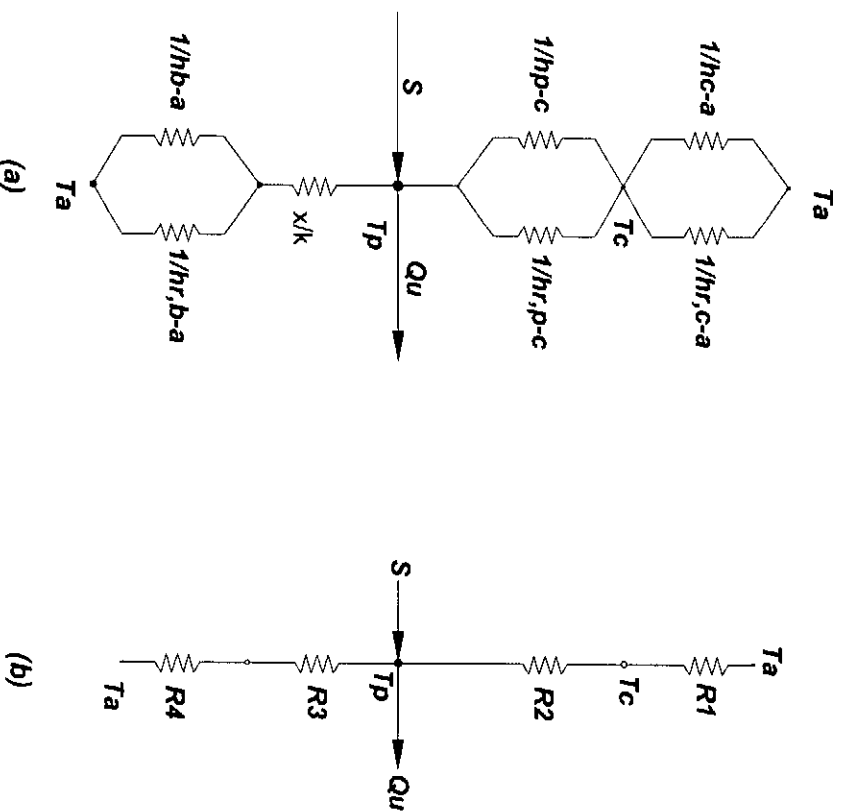


Figura 4.1.6.2.1. Modelo físico da rede térmica para um colector plano com uma cobertura: (a) em termos de condução, convecção e radiação; (b) em termos de resistências entre placas.

Fonte: Adaptado do livro de [3].

Na figura 4.1.6.2.1 (a)  $T_a$  é a temperatura do ar ambiente,  $T_p$  é a temperatura da placa de absorção,  $T_c$  é a temperatura da cobertura transparente,  $S$  é a radiação solar,  $Q_u$  é o calor útil,  $h_{c-a}$  é o coeficiente de perdas de calor por convecção entre a cobertura e o

meio ambiente,  $h_{r,c-a}$  é o coeficiente de perdas de calor por radiação entre a cobertura e o meio ambiente,  $h_{p-c}$  é o coeficiente de perdas de calor por convecção entre a placa de absorção e a cobertura,  $h_{r,p-c}$  é o coeficiente de perdas de calor por radiação entre a placa de absorção e a cobertura,  $x$  é a espessura do isolamento,  $k$  é o coeficiente de perdas de calor por condução do isolamento,  $h_{b-a}$  é o coeficiente de perdas de calor por convecção entre a base e o ambiente,  $h_{r,b-a}$  é o coeficiente de perdas de calor por radiação entre a base e o ambiente e na figura 4.1.6.2.1 (b) R1 é a resistência térmica entre a cobertura e o ambiente, R2 é a resistência térmica entre a placa de absorção e a cobertura, R3 é a resistência térmica do isolamento e finalmente R4 é a resistência térmica entre a base e o ambiente.

Para uma fácil compreensão da ideia será feita uma divisão da rede em duas partes nomeadamente: Parte superior (topo) e a base.

Como já foi acima referido, as perdas de energia no topo do colector resultam da convecção e radiação entre placas paralelas. De acordo com [3], o regime estacionário da transferência de energia entre a placa de absorção à temperatura  $T_p$  e a primeira cobertura à temperatura  $T_{c1}$  é o mesmo como o de outras duas placas de cobertura adjacentes e é também igual ao de perdas de energia do meio à volta da cobertura do topo.

As perdas de energia através do topo do colector por unidade de área é então igual ao calor transferido da placa de absorção para a cobertura e é dado pela expressão seguinte:

$$q_{\text{perdas,topo}} = h_{c,p-c} (T_p - T_c) + \frac{\sigma (T_p^4 - T_c^4)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \quad 4.21$$

Onde o coeficiente de perdas de calor por radiação entre a placa e a cobertura será:

$$h_{r,p-c} = \frac{\sigma (T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \quad 4.22$$



O coeficiente de perdas de calor por radiação entre a placa de cobertura e o ambiente será:

$$h_{r,c-a} = \varepsilon_c \sigma (T_c^2 + T_s^2)(T_c + T_s) \quad 4.23$$

A temperatura  $T_s$  é aproximada a temperatura ambiente.

A resistência térmica  $R_2$  será dada por:

$$R_2 = \frac{1}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}} \quad 4.24$$

Enquanto que a resistência  $R_1$  é uma função das condições de convecção do ar ambiente (velocidades do vento) e das perdas por radiação entre a cobertura e o ambiente. Assim sendo, a seguinte expressão pode ser usada para o seu cálculo:

$$R_1 = \frac{1}{h_v + h_{r,c-a}} \quad 4.25$$

Desta forma, para um colector plano com uma única cobertura o coeficiente de perdas de calor no topo deverá ser dado pela expressão seguinte:

$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2} \quad 4.26$$

O cálculo das perdas de calor no topo do colector é feito por um processo iterativo, começando por admitir-se um valor da temperatura da cobertura desconhecida, a partir da qual os coeficientes de transferência de calor por convecção e radiação entre as placas paralelas são calculadas e por sua vez um valor estimado do coeficiente global de perdas de calor no topo  $U_t$  pode ser calculado com a ajuda da expressão 5.3.6.2.6. A equação para calcular a temperatura da cobertura (uma só placa de cobertura) é apresentada a seguir :

$$T_c = T_p - \frac{U_t (T_p - T_a)}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}} \quad 4.27$$

[3] citam Hollands et al (1976), segundo o qual a relação entre o número de Nusselt e o de Rayleigh para inclinações de 0 a 75° pode ser estabelecida pela seguinte expressão:

$$Nu = 1 + 1.44 \left[ 1 - \frac{1708(Sen\theta . g\beta)^{1/6}}{RaCos\beta} \right] \left[ 1 - \frac{1708}{RaCos\beta} \right]^+ + \left[ \left( \frac{RaCos\beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]^+ \quad 4.28$$

Onde o número de Rayleigh é dado por:

$$Ra = \frac{g\beta'\Delta TL^3}{\nu\alpha} \quad 4.29$$

Onde:

Ra é o número de Rayleigh;

g é a aceleração de gravidade;

$\Delta T$  é a diferença de temperatura entre as placas;

L é a distância entre as placas;

$\nu$  é viscosidade cinemática do ar;

$\beta'$  é o coeficiente de expansão volumétrica (para um gás ideal,  $\beta = \frac{1}{T}$ );

T é a temperatura média entre a placa de absorção e a cobertura;

$\alpha$  é a Difusibilidade térmica.

Por sua vez sabe se que o número de Prandtl (Pr) é dado por:

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad 4.30$$

A expressão geral de cálculo do número de Nusselt é a seguinte:

$$Nu = \frac{hL}{k} \quad 4.31$$

Das expressões acima apresentadas, conclui-se que é necessário levantar as propriedades dos materiais, e do ar à temperatura média T. As propriedades do ar mais

importantes são: A viscosidade cinemática, a condutividade térmica, e o número de Prandtl.

De acordo com [3], para variadas condições de um corpo negro o uso da temperatura ambiente que não seja igual a temperatura do ar não afetará grandemente coeficiente de perdas de calor no topo do colector.

Existem na bibliografia diversos diagramas para estimar com boa precisão as perdas de calor no topo dos colectores para diversas condições de funcionamento.

A Figura 4.1.6.2.1 dos anexos fornece o coeficiente de perdas de calor no topo para colectores com uma, duas e três coberturas de vidro separadas por uma distância de 25 mm, temperatura ambiente de 40 °C, 10 °C e -20 °C, coeficientes de transferência de calor do vento de 5, 10 e 20 W/m<sup>2</sup>°C, as placas possuindo uma emiância de 0.95 e 0.10, uma inclinação de 45° e u intervalo de temperatura da placa de absorção.

[3] refere que os diagramas para estimar o coeficiente de perdas de calor no topo do colector pode ser usados para outros espaçamentos entre placas sem erros apreciáveis. Contudo a figura 4.1.6.2.2 dos anexos, mostra a variação das perdas de calor no topo com a distância entre placas para colectores de uma e de duas placas (a) e a variação das perdas de calor no topo com o ângulo de inclinação do colector (b). [3] atribuem a Expressão empírica 4.32 à Klein (1979) o qual seguindo os procedimentos básicos de Hotell e Woertz (1942) e Klein (1975) que permitem calcular por aproximação o coeficiente de perdas de calor no topo do colector com um erro absoluto de  $\pm 0.3$  W/m<sup>2</sup>°C com as temperaturas médias das placas variando entre a temperatura ambiente à 200 °C.

$$U_i = \left\{ \frac{N}{\frac{C}{T_{pm}} \left[ \frac{(T_{pm} - T_a)}{(N + f)} \right]^r} + \frac{1}{h_r} \right\}^{-1} + \frac{\sigma (T_{pm} + T_a) \left( T_{pm}^2 + T_a^2 \right)}{(\epsilon_p + 0.00591 N h_r)^{-1} + \frac{2N + f - 1 + 0.133 \epsilon_p}{\epsilon_g} - N} \quad 4.32$$

Onde: N é número de coberturas de vidro;

$$f = (1 + 0.089 h_r - 0.1166 h_r \epsilon_p) (1 + 0.07866 N)$$

$$C = 520 (1 - 0.000051 \beta^2) \text{ para } 0^\circ < \beta < 70^\circ \text{ e para } 70^\circ < \beta < 90^\circ, \text{ usa-se } b = 70^\circ$$

$$e = 0.430 \left( 1 - \frac{100}{T_{pm}} \right)$$

$\beta$  inclinação do colector;

$\varepsilon_g$  emitância do vidro (0.88);

$\varepsilon_p$  emitância da placa de absorção;

Ta Temperatura ambiente em K;

$h_v$  Coeficiente de transferência de calor do vento ( $W/m^2\text{°C}$ )

A temperatura média da placa pode ser estimada como se segue:

Em primeiro plano a temperatura média do fluido de trabalho ode ser calculada por integração da função de temperatura na direcção do escoamento. Essa integração resulta na expressão de temperatura média do fluido atribuída por [3] à Klein et al (1974) como a seguir se apresenta:

$$T_{mf} = T_f + \frac{Q_u}{F_R U_L A_e} (1 - F'') \quad 4.33$$

Essa é a temperatura mais adequada para se tirar as propriedades do fluido.

Sabe se que o calor útil calculado pela Expressão 4.20 é o mesmo que o calculado pela expressão a seguir:

$$Q_u = A_e [S - U_L (T_{pm} - T_a)] \quad 4.34$$

Igualando as Expressões 4.20 e 4.34 e resolvendo em relação a  $T_{pm}$ , tem-se a seguinte expressão para o cálculo da temperatura média da placa:

$$T_{pm} = T_f + \frac{Q_u}{F_R U_L A_e} (1 - F'') \quad 4.35$$

A equação acima pode ser resolvida por um método iterativo com a ajuda da Equação 4.32. Primeiro é necessário estimar se a temperatura média da placa a partir da qual calcula-se a  $T_{pm}$  e o coeficiente  $U_L$  com valores aproximados dos outros parâmetros como, o factor de remoção ( $F_R$ ) de calor e o factor de escoamento ( $F''$ ) do colector e  $Q_u$ , a nova temperatura média da placa é obtida da Expressão 4.35 e posteriormente usada para calcular o novo valor de  $U_L$  e por sua vez o novo valor de  $U_L$  é usado para reencontrar  $F_R$  e  $F''$  e o processo é repetido até que o valor de  $T_{pm}$  se torne constante. De notar que o processo de cálculo todo do  $Q_u$  começa com a Expressão 4.35, pois

esta permite estimar em primeira mão o valor da temperatura média da placa de absorção.

De acordo com [3], para colectores de aquecimento de líquido operados à caudais típicos de **0.01 a 0.02 kg/m<sup>2</sup>s**, a temperatura da placa é igual a:  $T_p + 10^\circ C$ .

É importante referir que o coeficiente global de perdas de calor  $U_L$  será o resultado da soma dos coeficientes de perdas de calor do topo do colector, da base e do corpo.

Cada um dos coeficientes de perdas de calor da base e do corpo calculam-se como se segue:

O coeficiente de perdas de calor da base é calculado assumindo que as perdas de calor entre a base e o ambiente são nulas, pois são desprezíveis. Então como única resistência na parte inferior do colector teremos a resistência  $R_3$  e o respectivo coeficiente de perdas de calor será dado por:

$$U_b = \frac{1}{R_3} = \frac{k}{L} \quad 4.36$$

Por sua vez o coeficiente de perdas de calor no corpo do colector pode ser calculado pela expressão que se segue:

$$U_c = \frac{(UA)_c}{A_c} \quad 4.37$$

Onde: (UA) representa o produto coeficiente de perda de calor - área do colector;

$A_c$  é a área do colector.

Desta forma, o coeficiente global de perdas de calor do colector pode ser calculado com a ajuda da seguinte expressão:

$$U_L = U_t + U_b + U_c \quad 4.38$$

[3] indica na sua obra que para colectores de grande área de superfície as perdas do corpo são desprezíveis.

#### 4.1.6.3. Factor de eficiência do colector

Para a análise do factor de eficiência do colector consideremos a figura 4.1.6.3.1.

Nesta figura, a distância entre os tubos é  $W$ , o diâmetro dos tubos é  $D$  e a espessura

da placa de absorção é  $\delta$ . Dado que o material da placa de absorção é um excelente condutor de calor, o gradiente de temperatura através da placa é desprezível.

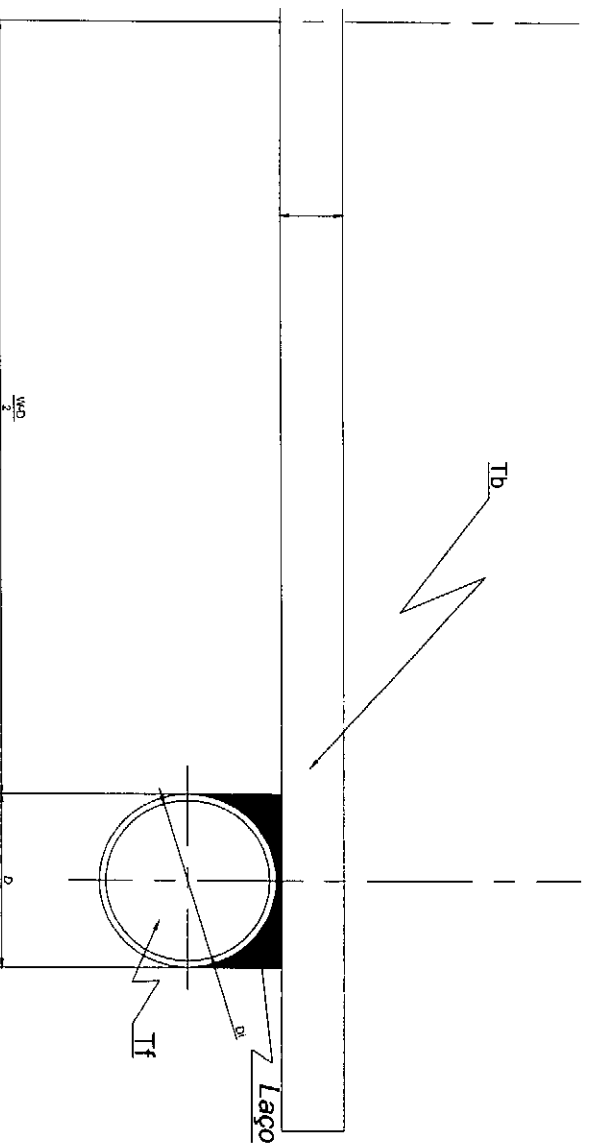


Figura 4.1.6.3.1 Ilustração do modelo físico para a avaliação do chamado o coeficiente de eficiência da "barbatana".

Da análise da distribuição da temperatura entre os tubos resulta a expressão proposta por [3], a qual permite calcular a chamada eficiência de "barbatana" que a seguir se indica:

$$F = \frac{\tanh\left[m \frac{(W-D)}{2}\right]}{m(W-D)} \quad 4.39$$

Onde m é calculado por:

$$m = \sqrt{\frac{U_L}{k\delta}} \quad 4.40$$

Outro parâmetro importante no balanço energético do colector é o factor de eficiência do colector, o qual é dado pela seguinte expressão:

$$F' = \frac{1}{U_L \left[ \frac{W}{U_L [D + (W-D)F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_i h_f} \right]} \quad 4.41$$

Onde:  $C_b$  é a condutância do laço de união dos tubos e pode ser calculado

$$\text{por: } C_b = \frac{k_b b}{\gamma}$$

$k_b$  é coeficiente de transmissão de calor por condução do laço;

$\gamma$  é a espessura média do laço.

Segundo [3], o coeficiente de eficiência do colector é essencialmente uma constante para cada desenho do colector e caudal do escoamento.

A figura 4.1.6.3.1 dos anexos, mostra o factor de eficiência do colector em função da distância entre tubos, espessura e condutividade da placa de absorção para diferentes valores de  $U_L$ .

#### 4.1.6.4. Factor de remoção de calor

O factor de remoção de calor indica a razão entre a quantidade de calor realmente transferida para o fluido e a quantidade total útil ganha pelo colector  $Q_u$  e pode ser dado como a seguir se indica:

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p (T_{fo} - T_{fi})}{A_c [S - U_L (T_{fi} - T_a)]} \quad 4.42$$

Considerando a distribuição da temperatura na direcção do escoamento, o factor de remoção de calor pode ser dado por:

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p}{A_c U_L} \left[ 1 - e^{\left( -\frac{A_c U_L F'}{\dot{m} C_p} \right)} \right] \quad 4.43$$

Outro parâmetro importante para a avaliação das condições de escoamento e energéticas é a razão entre o factor de remoção de calor  $F_R$  e o factor de eficiência  $F'$  é chamada por factor de escoamento e calcula-se pela expressão que se segue:

$$F'' = \frac{F_R}{F'} = \frac{\dot{m} C_p}{A_c U_L F'} \left[ 1 - e^{\left( -\frac{A_c U_L F'}{\dot{m} C_p} \right)} \right] \quad 4.44$$

O factor de escoamento é uma função duma variável única, adimensional chamada

razão de capacitância do colector e expressa por:  $\frac{m C_p}{A_c U_l F'}$  e pode ser vista na figura

4.1.6.4.1 dos anexos.

Importa, com efeito, referir que a temperatura do fluido na saída do colector deverá ser igual à:

$$T_o = T_i + \frac{Q_u}{m C_p} \quad 4.45$$

#### **4.1.7. Eficiência do colector**

A eficiência energética de qualquer sistema de conversão é um parâmetro que relaciona as quantidades de: Energia fornecida, energia útil e as perdas. Depois de avaliadas as perdas de energia no colector solar plano de acordo com os modelos acima seguidos, A energia útil como foi mostrado resulta da diferença entre a energia incidente do sol (considerando o factor de remoção de calor, a Transmittância e Absorvitância) e a energia perdida no colector ( $U_l(T_i - T_a)$ ).

Existem vários modelos para a avaliação da eficiência do colector. Contudo, a escolha do modelo a seguir depende do propósito a que destina o sistema em questão. De acordo com [3], para aquecimento do espaço e de água sanitária, o modelo simples é suficientemente adequado.

A eficiência instantânea do colector solar pode ser dada pela seguinte expressão:

$$\eta_i = \frac{Q_u}{A_c G_i} \quad 4.46$$

Apesar da Expressão 4.46 servir para o cálculo da eficiência instantânea, serve muito bem como base para o método de teste padronizado de eficiência.

Outra expressão para o cálculo da eficiência do colector tem como base nos parâmetros termodinâmicos do fluido à entrada e saída do colector como a seguir se indica:

$$\eta_i = \frac{m C_p (T_o - T_i)}{A_c G_i} \quad 4.47$$

Substituindo a expressão de  $Q_u$  em 4.46, tem-se:



$$\eta_i = F_R(\tau\alpha) - \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{G_i} \quad 4.48$$

As Expressões 4.47 e 4.48 indicam que a eficiência do colector é uma função linear do salto térmico  $T_i - T_a$ . Desta expressões ainda se pode depreender que temos dois importante parâmetros que descrevem como o colector funcionam sem considerar a variação do ângulo de incidência,  $F_R(\tau\alpha)_n$  e  $F_R U_L$ .

O parâmetro  $F_R(\tau\alpha)_n$  indica como a energia solar é absorvida pelo colector e o parâmetro  $F_R U_L$  indica como a energia solar é perdida.

Para uma análise prática e resumida do sistema solar, as Equações 4.47 e 4.48 resume suficientemente o estudo da eficiência do colector solar.

Da Equação 4.47 confirma-se que quando a diferença de temperaturas entre a entrada e a saída do colector é nula, a eficiência deste também será nula, igual situação ocorre se o fluxo mássico for nulo, isto é, se não houver escoamento pelo painel.

A Expressão 4.48 indica nos que o melhor aproveitamento da energia ocorre quando a temperatura de entrada do fluido no colector é menor ou igual a temperatura ambiente, o que sugere que a energia é suficientemente aproveitada no local de consumo. Quando a diferença entre a temperatura de entrada do fluido  $T_i$  e do ambiente  $T_a$  é nula, as perdas de calor pelo colector são nulas.

Em última observação, de referir que a análise acima feita da eficiência do colector é a mais simples e prática, despreza o efeito da variação do ângulo de incidência e assume que os parâmetros de  $F_R$  e  $U_L$  não variam muito com a temperatura para as condições de exploração solar em estudo.

## 4.2. Avaliação das condições do local de implantação do sistema

Para o presente caso de estudo, tomar-se-á à título de exemplo como base os dados de insolação referentes a cidade de Maputo. A cidade de Maputo está à aproximadamente 25° e 18' de latitude sul.

Os dados de insolação para a cidade de Maputo os seguintes:

| Mês       | Radiação global estimada | Rdifusa            | Rdirecia           | Radiação global média |  |
|-----------|--------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|--|
|           | Kwh/m <sup>2</sup>       | Kwh/m <sup>2</sup> | Kwh/m <sup>2</sup> | Kwh/m <sup>2</sup>    |  |
| Janeiro   | 7,7                      | 2,7                | 4,9                | 6,9                   |  |
| Fevereiro | 7,3                      | 2,5                | 4,8                | 6,6                   |  |
| Março     | 6,4                      | 2,1                | 4,3                | 5,8                   |  |
| Abril     | 5,3                      | 1,7                | 3,7                | 4,9                   |  |
| Maió      | 4,4                      | 1,3                | 3,1                | 4,1                   |  |
| Junho     | 3,9                      | 1,1                | 2,8                | 3,8                   |  |
| Julho     | 4,1                      | 1,2                | 2,9                | 3,8                   |  |
| Agosto    | 4,9                      | 1,5                | 3,4                | 4,5                   |  |
| Setembro  | 5,8                      | 1,9                | 3,9                | 5,0                   |  |
| Outubro   | 6,7                      | 2,3                | 4,3                | 5,7                   |  |
| Novembro  | 7,1                      | 2,7                | 4,5                | 6,0                   |  |
| Dezembro  | 7,7                      | 2,8                | 4,9                | 6,8                   |  |

Tabela 4.2.1 Insolação da cidade de Maputo

Fonte: Departamento de Física da Faculdade de Ciências, U.E.M.

A seguir o respectivo gráfico de variação mensal de insolação.

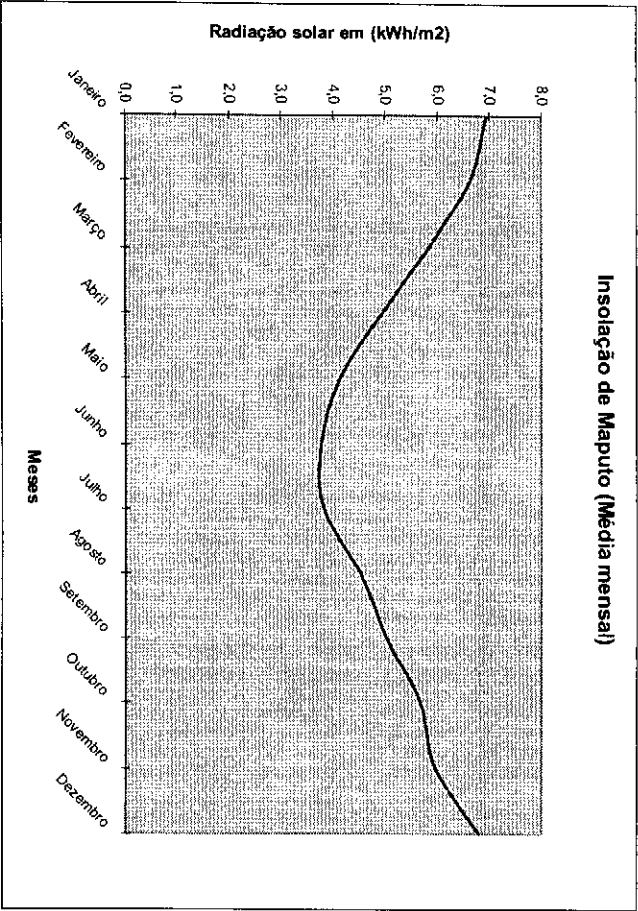


Gráfico 4.2.1. Variação da insolação de Maputo.

Fonte: Adaptado dos dados de insolação da tabela 4.2.1.

Do diagrama acima se pode claramente ver que os meses de maior insolação são: Novembro e Dezembro e mínima verifica-se em Junho. Para fazer face à estas variações nos níveis de insolação, a inclinação dos colectores num determinado ângulo  $\beta$  em relação à horizontal é recomendada, como pode ser visto no mapa geral de cálculos dos anexos.

A variação da radiação absorvida tendo em conta aos fenómenos de radiação (Absorvância, Emissividade, Reflectância, e o ângulo de incidência) pode ser vista na figura a seguir:

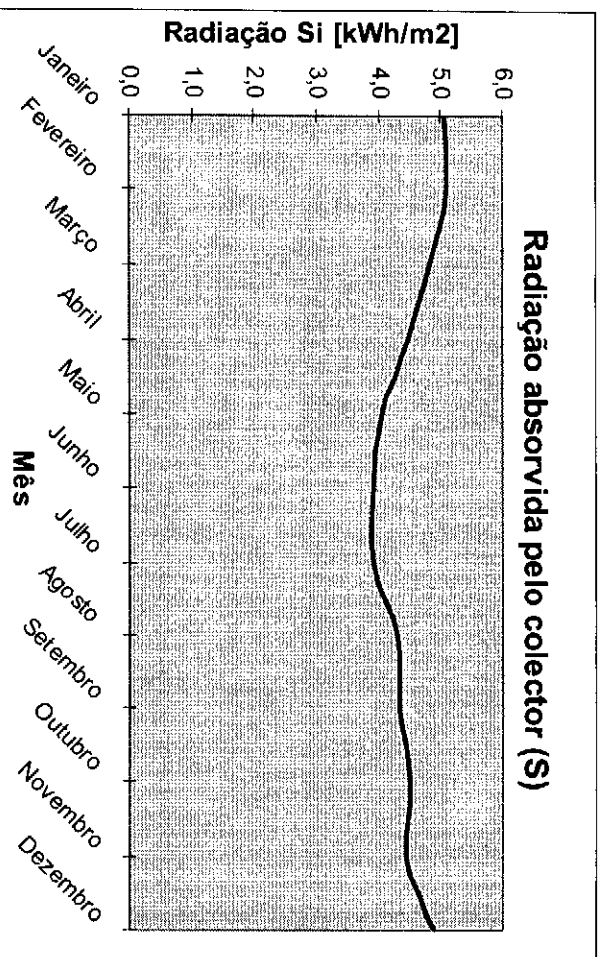


Gráfico 4.2.2. Radiação solar absorvida calculada com base no modelo matemático apresentado.

#### 4.2.1. Localização do sistema

Tome-se à título de exemplo o caso de Maputo para uma unidade sanitária com capacidade de internamento para **100** pessoas.

#### 4.3. Cálculo do consumo de água quente, potência calorífica da caldeira e o volume do reservatório

Um cálculo exacto das necessidades de água quente num hospital é uma tarefa difícil se não mesmo impossível, pois as necessidades em termos de consumo de água quente são bastante variáveis em função de vários factores tais como o fluxo de pessoas, a estação do ano, entre outros. Contudo uma estimativa pode ser feita de modo a assegurar a quantidade que satisfaça em grande medida as necessidades básicas de água quente, fundamentalmente os serviços de esterilização, lavandaria e cozinha. De acordo com [6], o consumo de água quente num hospital pode ser estimado em 125 litros por dia e por leito. Ainda segundo [6], o consumo diário de água quente pode ser estimado nos seguintes termos:

O consumo diário dos restaurante e cozinha por refeição preparada é de aproximadamente 12 litros e o consumo de água quente por kg de roupa seca na

lavandaria é de cerca de 15 litros por dia. Admitindo 3 leitos para esterilização e também 3 leitos para laboratório, 6 máquinas de lavar roupa com capacidade nominal de 7 kg de roupa seca, 6 máquinas com capacidade nominal de 43 kg e 4 máquinas com capacidade nominal de 16 kg, o consumo total de água quente no hospital pode ser estimado em **10155 litros** por dia de acordo com os dados indicados no mapa 4.3.1. dos anexos o qual representa de forma resumida a matriz geral de cálculo do consumo de água quente, da potência calorífica da caldeira e do volume do reservatório. É de referir que todos os parâmetros necessários para o cálculo referentes à instalação são indicados nesse mapa.

Do mapa em questão, também se pode ver que o volume ótimo do reservatório deverá ser de **5m<sup>3</sup>** e a potência calorífica da caldeira deverá ser de **112 kW** para as condições dadas.

Os princípios de cálculo usados no mapa para alcançar os resultados acima são os seguintes:

Uma equação de energia pode ser escrita para cada zona de circulação de água quente. O calor necessário no reservatório para manter a água entre as temperaturas de 15 a 70°C deverá ser igual ao calor que desprende na água nos pontos de consumo entre as temperaturas de 40°C e 15 °C, conforme se indica na Expressão 4.3.1:

$$V_{reserv.}(T_{70^{\circ}C} - T_{15^{\circ}C}) = V_{H_2O40^{\circ}C}(T_{40^{\circ}C} - T_{15^{\circ}C}) \quad 4.48$$

Onde:

$V_{reserv.}$  é o volume da água do reservatório;

$V_{H_2O40^{\circ}C}$  é volume da água à 40°C nos pontos de consumo;

T indica as temperaturas da água para as diferentes condições.

Da Expressão 4.48 resulta que o volume do reservatório da água à 70°C será dado pela expressão seguinte:

$$V_{reserv} = V_{H_2O40^{\circ}C} \frac{(T_{40^{\circ}C} - T_{15^{\circ}C})}{(T_{70^{\circ}C} - T_{15^{\circ}C})} \quad 4.49$$

Tendo o volume do reservatório de água quente, a potência da caldeira para produzir o calor que faça face ao volume da água a ser reservada, pode ser dada pela expressão seguinte:

$$P_{caldeira} = \rho V_{reserv.} C_{pH_2O} (T_{70^{\circ}C} - T_{15^{\circ}C}) (1 + 0.15) \quad 4.50$$

Onde:  $\rho$  é a densidade da água à temperatura média;

$V_{reser.}$  é o volume do reservatório;

$C_p$  é o calor específico da água é temperatura média;

O termo 0.15 representa a margem de segurança de 15% em relação ao volume calculado.

O trabalho final resumir-se-á ao cálculo da área mínima do colector com base na Expressão 4.20 substituindo no lugar de  $Q_u$  o valor da potência da caldeira calculada com a ajuda da Expressão 4.50 e o respectivo valor da insolação calculada com base na Expressão 4.16 para posterior cálculo das dimensões dos materiais a usar e finalmente considerar os aspectos relacionados com o escoamento como seja a tubagem, as válvulas, o controlo, a fixação, etc.

Em resumo, tomando em consideração o que foi exposto nos capítulos precedentes, os dados adicionais e resultados finais para o presente caso de estudo são indicados no mapa 4.3.2. e as propriedades dos materiais podem ser vistas no mapa 4.3.3 ambos dos anexos.

De notar que a área individual do colector é definida por hipótese entre os valores de **1.5 m<sup>2</sup> a 3 m<sup>2</sup>** e a tarefa principal consiste em calcular o número de colectores tendo em conta o calor útil que é transferido para a água por cada colector depois de descontadas todas as perdas.

De notar que foi tomado o mês de menor insolação para o cálculo do número de colectores e da área mínima.

A variação das potências disponíveis e necessária pode ser vista no gráfico a seguir:

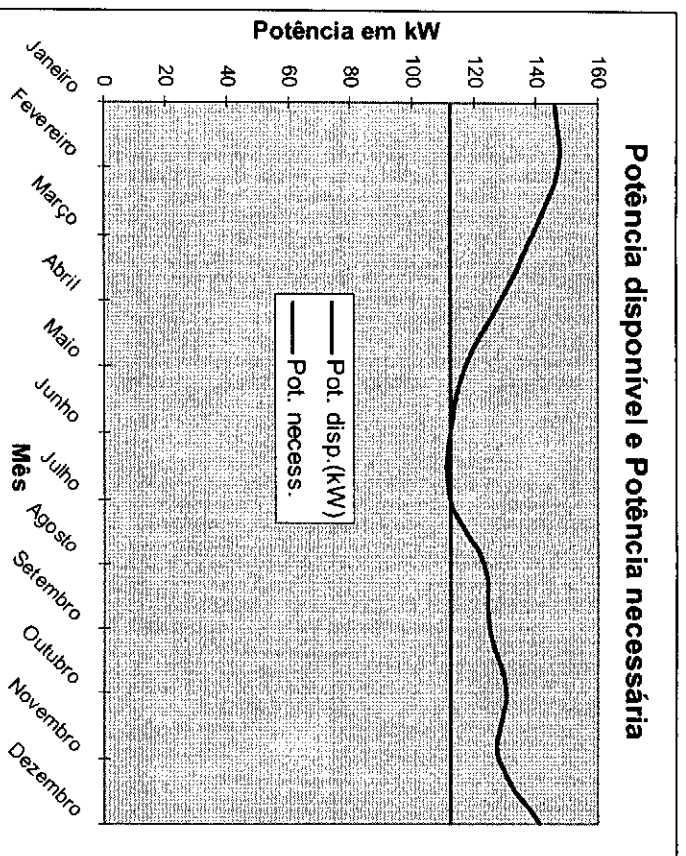


Gráfico 4.3.1 Variação temporal das potências, disponível e necessária

#### 4.4. Materiais recomendados para o presente caso de estudo

Para o presente projecto deverão ser usados os seguintes materiais por equipamento:

##### **Colector solar**

**Serpentina** – os tubos que irão compor a serpentina deverão ser de Cobre dentro das especificações técnicas de modo a resistir as pressões e temperatura impostas pelo sistema.

**Placa de absorção** – deverá ser de Cobre e alternativamente pode ser de aço, esta deverá ser pintada de negro;

**Cobertura transparente** – poderá ser usado o vidro normal desde que possua uma transparência elevada;

**Isolamento térmico** – deverá ser de fibra de vidro e como alternativa poderão ser usados o poliuretano, propilene, entre outros desde que a sua condutividade térmica não seja superior a  $0.04 \text{ w/(m}^2\text{°C)}$ ;

**Caixa exterior** – Deverá ser de Alumínio isolada por todo o corpo interiormente.

##### **Canalizações exteriores**

Nas canalizações exteriores deverão ser usados tubos de cobre tanto para o circuito primário como para o circuito secundário e admite-se também para o circuito

secundário o uso de tubos de aço galvanizado. As uniões entre tubos poderão ser de ligas Bronze ou latão. O material para o isolamento exterior dos tubos deverá ser de Neoprene ou outro material de fácil montagem nos tubos e com as especificações que satisfaçam as condições de funcionamento da instalação.

### **Reservatório**

O material para a construção do reservatório deverá ser o aço inox e como alternativa poderá ser usado o aço de construção desde que seja protegido nas suas superfícies por pintura a base de "epoxy". O tanque deverá ser de disposição vertical e os suportes deverão ser de aço de construção. O material para o isolamento do reservatório poderá ser fibra de vidro desde que a sua seja em tamanho suficiente.

## **4.5. Acessórios**

### **4.5.1. Circulação**

Deverão ser montadas no sistema duas bombas de circulação, uma para o circuito primário e outra para o circuito secundário, com as características adequadas as exigências da instalação em termos de pressão e caudal. De acordo com a importância da instalação e se julgar necessário, poderão ser montadas bombas de reserva ligadas em paralelo em relação as bombas principais, para o que serão previstas as respectivas uniões no sistema.

### **4.5.2. Dispositivos de controle**

Num sistema de circulação forçada, as bombas devem parar de funcionar quando a temperatura à saída do colector, for inferior à temperatura no depósito, porque a radiação é baixa ou o depósito já terá atingido a temperatura desejada. Para o efeito serão utilizados um *termostato diferencial* e *sondas de temperatura*. Uma das sonda será colocada na parte superior do colector e a outra na parte inferior do acumulador. Por último estabelecer-se-á a ligação entre o termostato e as bombas de ligação. A seguir na figura 4.1 pode ser visto o esquema que sintetiza a função controle de acordo com o que foi dito acima. Neste esquema o comando diferencial 4 controla a diferença de temperaturas entre as saídas do colector solar e do reservatório, se a temperatura na saída do colector revelar-se inferior em relação a temperatura da saída do reservatório, o dispositivo diferencial desliga a bomba B1 e esta por sua vez comanda a bomba B2 parando desta forma o sistema. Importa, com efeito, referir que a bomba B2

funciona apenas quando a bomba B1 estiver em funcionamento e por sua vez a bomba B1 funciona quando existe radiação suficiente e a temperatura na saída do reservatório (6) for baixa, esta é de uma forma geral a essência do controlo neste sistema.

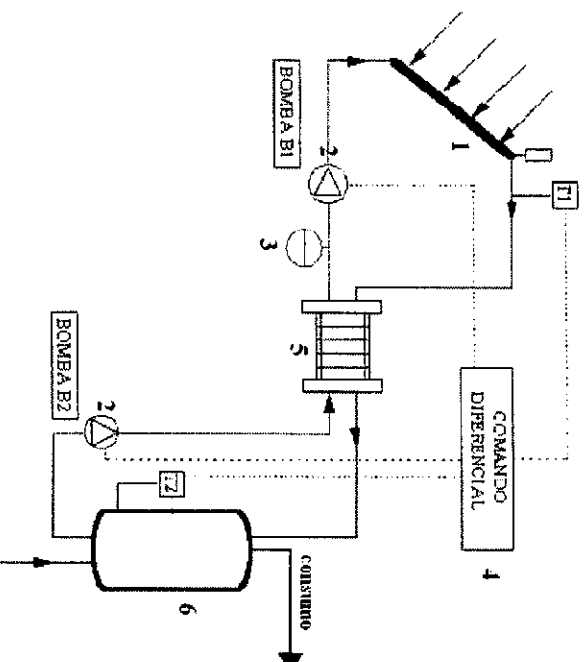


Figura 4.5.2.1. Ilustração do circuito e dos dispositivos de controlo.

Deverão ser montados ainda termómetros e manómetros em locais acessíveis de modo a facilitar o controlo, para além dos medidores de caudal.

#### **4.5.3. Segurança do sistema**

A segurança no sistema visa: A proteger o sistema contara a danificação devido a subida excessiva de temperatura e pressão e por outro lado proteger as pessoas contra os efeitos do calor excessivo.

Tendo como base no pressuposto acima, o sistema de segurança deverá assegurar a instalação em local correcto (inacessível) dos equipamentos que estejam sob temperaturas e pressões elevadas, deverão igualmente ser montadas válvulas de segurança para o alívio do sistema em caso de sobre pressões, respiradouros e todos os elementos sob temperaturas elevadas deverão ser devidamente isolados termicamente com materiais adequados.

As válvulas de segurança deverão ser escolhidas de acordo com as características do sistema em termos de pressão máxima de modo que estas limitem esta pressão. As válvulas de segurança deverão ser colocadas à entrada dos colectores e no vaso de expansão do reservatório.



#### **4.5.4. Operação do sistema**

Os passos mais importantes a seguir para o arranque da instalação solar de aquecimento de água são os seguintes:

A) Enchimento e esvaziamento da instalação para limpeza interna e detecção de possíveis fugas.

- Encher lentamente da parte inferior para a parte superior do sistema com os purgadores abertos até o fluido circule por eles;
- Fechar os purgadores e deixar que o fluido circule vários minutos de modo a arrastar a sujidade e depósitos internos;
- Proceder ao esvaziamento.

B) Enchimento e purga finais da instalação solar.

- Abrir o purgador da bomba antes desta entrar em funcionamento;
- Instalar o vaso de expansão antes da aspiração da bomba de circulação;
- Verificar a posição de todas as válvulas de fecho;
- Realizar o enchimento e pressurização definitivos com os colectores cobertos para evitar a formação de bolças de vapor;
- Fechar todos os elementos purgadores;
- Inspeccionar possíveis fugas.

Importa, com efeito, referir que se a instalação possuir um vaso de expansão fechado, com o enchimento do circuito primário feito directamente a partir da rede é necessário verificar se a pressão da rede é maior ou não em relação à pressão nominal do sistema. Se a pressão da rede for maior que a do sistema, deverá ser montada uma válvula redutora no sistema antecedida de uma outra de fecho com a função de facilitar a regulação da pressão da válvula redutora.

Por outro lado se o vaso de expansão for do tipo aberto, o enchimento será efectuado directamente a partir do vaso de expansão.

C) Enchimento e purga do circuito secundário

- Se a pressão da rede de água for superior à máxima recomendada para os reservatórios deverá ser instalada uma válvula redutora de pressão;
- Deverá ser instalado um purgador na parte mais elevada da instalação e que ficará aberto até a evacuação total de gases. O purgador deverá ser fechado quando a água começar a circular por ele;

- Deverá ser instalada uma válvula de segurança com pressão nominal inferior a pressão nominal para a qual o reservatório foi dimensionado. É importante que se evite a instalação de qualquer válvula de fecho entre a válvula de segurança e o reservatório.

#### **4.5.5. Manutenção do sistema**

Do ponto de vista da manutenção do sistema, é fundamental que a mesma seja efectuada por pessoal especializado. Associado a isto, é necessário ter se presente:

- Um manual de instruções;
- Um esquema identificando todos os elementos;
- Informações sobre o uso da instalação e operação de segurança, conservação e manutenção;
- Informações sobre os limites de calcário admissíveis na água de alimentação;

As operações de manutenção para além do que acima foi indicado incluem:

- Manobra periódica (pelo menos trimestralmente) da válvula de segurança para evitar que esta fique colada;
- Verificação da existência ou não de ar para a pressurização do sistema;
- Comprovação do funcionamento correcto das válvulas de toda a instalação;
- Comprovação do funcionamento correcto das sondas de temperatura, controle diferencial e verificação do tempo de arranque e paragem de acordo com o desejado;
- Realização da inspecção visual para verificar o estado do isolamento e da estrutura e cobertura dos colectores, entre outras tarefas.

Adicionado ao o que acima é exposto, no acto da instalação deverá ser fornecida uma ficha com todas as características do sistema e as respectivas recomendações de operação bem como de manutenção de forma detalhada.

## 5. Avaliação económica do projecto

De uma forma geral, as razões que estão por de traz da instalação de um sistema solar podem ser agrupadas como a seguir se indica:

- Benefícios económicos da energia gratuita proveniente do sol;
- Minimização da degradação ambiental;
- Diminuição da dependência das fontes convencionais de energia.

A primeira razão é evidentemente a mais comum na actualidade, pelo que é necessário ter se em conta em qualquer instalação de energia solar a sua durabilidade e eficácia durante muitos anos.

As bases gerais usadas para a tomada de decisão na adopção ou não do recurso á sistemas solares deverá, com efeito, ter como fundamento á factores económicos tais como:

- O valor do investimento;
- Os custos, a poupança, cronologia e a evolução no tempo;
- A vida útil da instalação;
- A inflação;
- Aspectos relacionados com a fiscalidade.

Com efeito para o presente caso de estudo, dois conceitos económicos deverão ser considerados:

O **Valor Acrescentado Líquido (VAL)** que é um parâmetro que dá uma medida do valor económico do projecto tendo em conta a sua vida útil, isto é, uma soma de poupanças que serão acumuladas por ano pelo menor consumo de energia eléctrica ou combustível convencional, porém, actualizadas com a taxa de inflação estimada.

A **Taxa Interna de Rentabilidade** é definida como sendo o valor da taxa de actualização que anula o VAL do projecto, obtendo desta forma o juro que teria que existir para que o investimento da instalação solar produzisse o mesmo benefício que uma capitalização como este juro. Portanto, uma taxa de rentabilidade superior aos juros médios aplicados no mercado financeiro significa que o projecto solar é aconselhável e viável do ponto de vista económico.

Para um projecto solar, o benefício VAL que a instalação proporciona pode ser calculado com recurso á seguinte expressão:

$$VAL = A * \sum_1^t \left[ \frac{(1+c)}{(1+e)} \right]^t - M * \sum_1^t \left[ \frac{(1+i)}{(1+e)} \right]^t - C \quad 5.51$$

Onde:

**A** representa a poupança prevista anual;

**t** representa o tempo de vida útil previsto para o sistema em anos, considera-se um mínimo de 10 anos, [5];

**c** representa a inflação dos combustíveis, varia de 0 a 1;

**e** Juros financeiros, varia de 0 a 1;

**M** custo de manutenção durante o primeiro ano;

**i** valor da inflação anual, varia de 0 a 1;

**C** custo do investimento

Nos primeiros anos o valor acrescentado líquido é negativo e chega um ano em que é nulo e depois passa a ser positivo. O período que vai desde o primeiro ano do investimento até ao ano em que o VAL é nulo é chamado tempo de retorno ou tempo de amortização.

O cálculo da Taxa Interna de Rentabilidade é feito adoptando se um tempo de vida útil para a instalação que é de 10 anos conforme foi indicado acima e igualando à zero (0) o VAL para esse tempo de vida útil. A expressão a seguir pode ser usada para o cálculo da taxa de interna de rentabilidade:

$$0 = A * \sum_1^{10} \left[ \frac{(1+c)}{(1+r)} \right]^t - M * \sum_1^{10} \left[ \frac{(1+i)}{(1+r)} \right]^t - C \quad 5.52$$

A taxa interna de rentabilidade se revela bastante útil quando se está perante vários investimentos a serem feitos para melhorar a eficiência energética de um sistema, pois esta indica a ordem de prioridade económica para investir os fundos disponíveis.

Tomando-se como exemplo os preços médios dos materiais básicos para a construção do sistema solar com a potência indicada nos capítulos antecedentes que é de 112kW, uma caldeira da Guandong Boilers Work de 150 kW (CLSS0.15), cujas características são indicadas na tabela 5.1 dos anexos, para as duas opções de combustíveis, GLP e óleo, tem-se os resultados da avaliação económica na tabela 5.1 dos anexos e os custos totais do projecto podem ser vistos na tabela 5.2 doa anexos.

## 6. Conclusões

As conclusões fundamentais a que se chegam após a execução do presente trabalho são as seguintes:

- Os objectivos principais do trabalho foram alcançados;
- Confirma-se que a eficiência do colector é afectada pelas características dos materiais usados, temperatura ambiente do local, caudal do fluido de trabalho, configuração geométrica, área do colector, entre outras.
- São necessárias acções de incentivo por parte dos diversos intervenientes na área em questão, particularmente as entidades legisladoras para uma aderência a tecnologias de aproveitamento de energia solar;
- Aos académicos e engenheiros cabe a missão de pesquisa e divulgação das vantagens no uso das energias renováveis;
- A viabilidade de um projecto solar está dependente dos preços de combustíveis fósseis, quanto mais altos mais rentável é o projecto solar e está também dependente dos níveis de insolação do local de implantação, quanto mais alto o nível de insolação maior é a rentabilidade do sistema solar.
- O período de retorno do sistema solar comparativamente à alternativa de uma caldeira a gás liquefeito de petróleo GLP é de 1 ano enquanto que relativamente à uma caldeira a óleo, este período é de 3 anos.
- Os resultados da avaliação económica mostram ainda que quanto mais caro for o combustível alternativo mais alta é a taxa de rentabilidade interna, o que significa que um sistema solar é mais rentável quando comparado à caldeira à GLP que quando comparado à uma caldeira à óleo.
- A taxa de rentabilidade de 26,6 % na alternativa de caldeira à óleo na tabela 5.1 indica que a alternativa solar não seria de aconselhável do ponto de vista da rentabilidade interna, pois o óleo é suficientemente barato para o preço de base desta época de tal forma que pode substituir o sistema solar. Porém, comparando o tempo de vida útil do sistema (10 anos) e o tempo de retorno (3 anos), o VAL e o custo do combustível conclui-se que a opção é viável;
- A alternativa solar é aconselhável comparativamente com a da caldeira à gás GLP, pois, a TIR é de 66.12%, maior que a taxa de juros que é de 27% e o VAL também elevado.

## **7. Recomendações**

É de recomendar que estudos sejam realizados em Moçambique com vista ao maior aproveitamento da energia solar. Pois é de importância capital para o país já que maior parte da população é rural o que reduziria em certa medida a destruição da vegetação, reduziria de igual modo a dependência aos combustíveis convencionais e garantiria benefícios económicos pelo consumo de energia que chega gratuitamente ao local de consumo.

Portanto, são de recomendar investimentos nas chamadas energias renováveis e em particular em tecnologias solares no país com vista a fazer face aos problemas acima referidos, o que contribuiria em certa medida para a estabilidade da economia nacional. Finalmente, recomenda-se o uso de uma caldeira à gás GLP ou à óleo conforme as facilidades de cada recurso para servir de fonte alternativa de energia.

## **8. Referências e bibliografia**

### **8.1. Referências**

- [1] - Pedro Portillo. Energia Solar. Ediciones Pirámide, Madrid, 1985;
- [2] – Fátima Arthur, 2005;
- [3] - John A. Duffie e William A. Beckman. Solar Engineering of Thermal Process. 2nd edition, U.S.A: John Wiley & Sons, Inc, 1991;
- [4] - John D. Myers. Solar Applications in Industry and Commerce. Prentice-Hall, Inc New Jersey, 1984;
- [5] – Jorge Cruz Costa e Eduardo Perez Lebena, 1996, Lisboa;
- [6] - Archibald Joseph Macintyre. Equipamentos industriais e de processo. Rio de Janeiro LTC – Livros Técnicos e Científicos, 1997;

### **8.2. Bibliografia**

- 1. F. O. Akuffo, [et al]. Principles of engineering thermodynamics. Nairobi UNESCO, 1997;
- 2. Yunus A. Çengel e Michael A. Boles. Thermodynamics an engineering, MC Grow-Hill, USA, 1992;
- 3. [www.worldenergy.org](http://www.worldenergy.org);
- 4. [www.iea.org](http://www.iea.org);
- 5. [www.eurorex.com](http://www.eurorex.com);
- 6. Instituto Nacional de Estatística. Anuário Estatístico, INE , Moçambique, 2002
- 7. Instituto Nacional de Estatística. Anuário Estatístico, INE , Moçambique, 2004
- 8. Instituto Nacional de Estatística. Anuário Estatístico, INE , Moçambique, 2005

9. Anexos

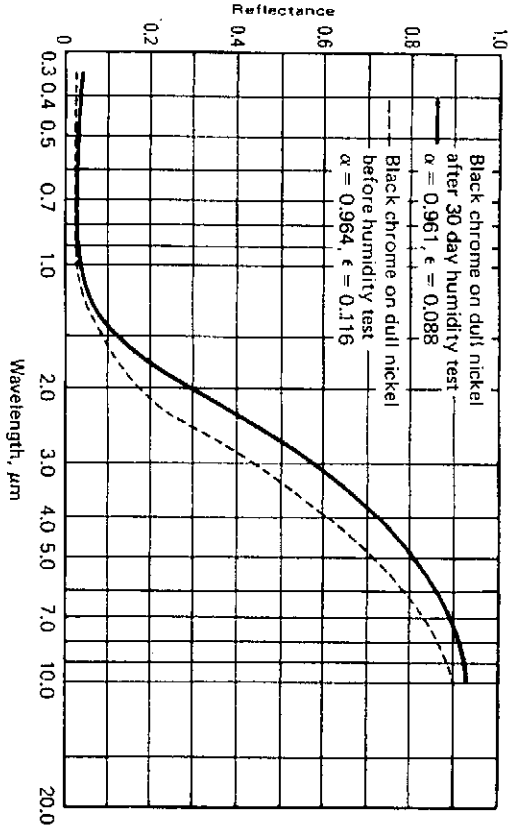


Diagrama 4.1.3.1 Variação da Refletância do material da placa de absorção em função do comprimento de onda.  
Fonte: Duffie e Beckman (1991).

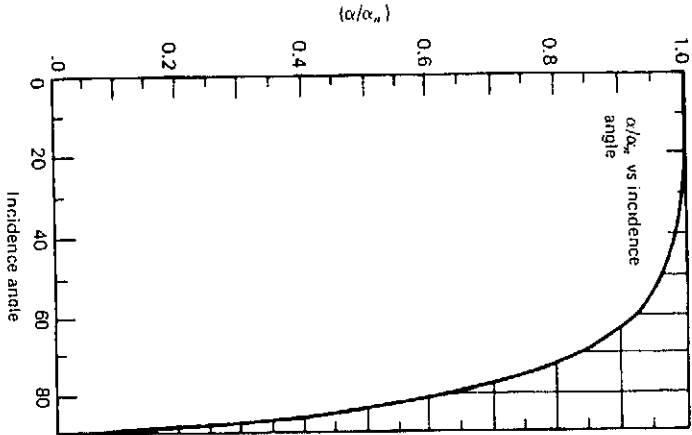


Diagrama 4.1.3.2. Variação da razão entre a Absorvância e abosorvância normal com o ângulo de incidência.  
Fonte: [3].



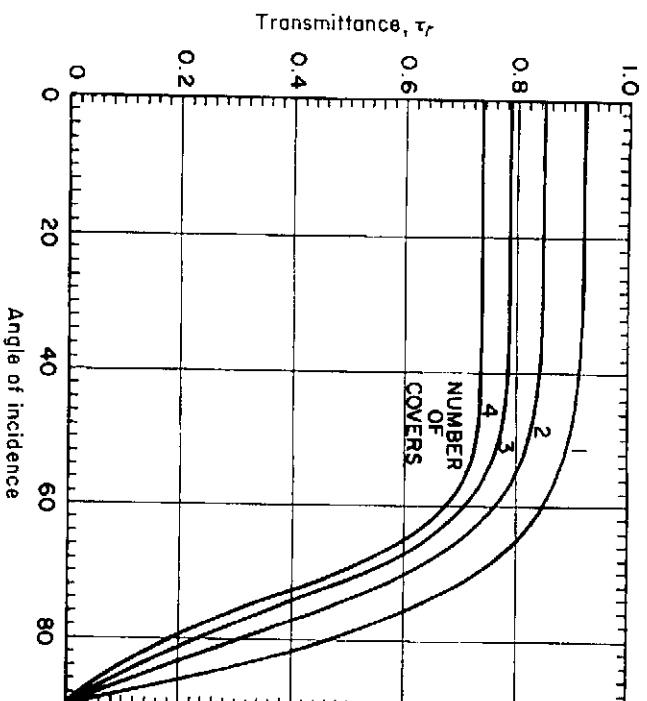


Diagrama 4.1.4.1. Transmissão de 1, 2, 3 e 4 coberturas não absorventes em função do ângulo de incidência com o índice de refração de 1,526..

Fonte: [3]

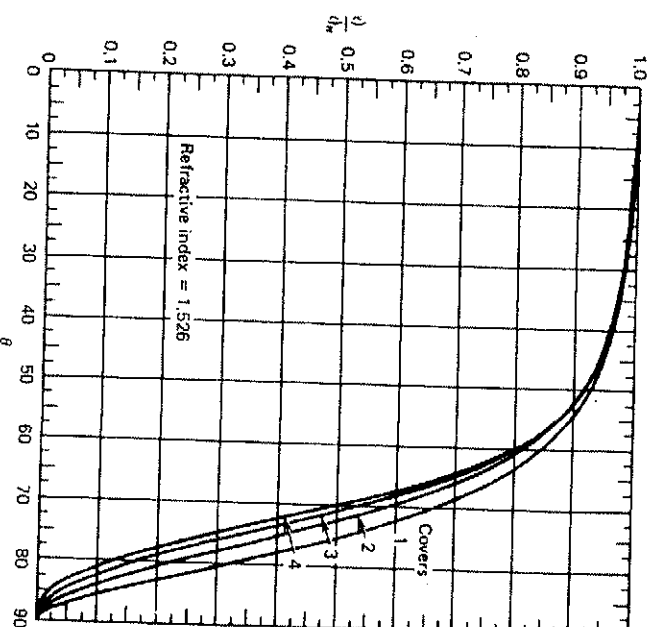


Diagrama 4.1.4.2. Valores típicos de  $(\tau_t)$   $(\tau_t)_n$  em função do ângulo de incidência.

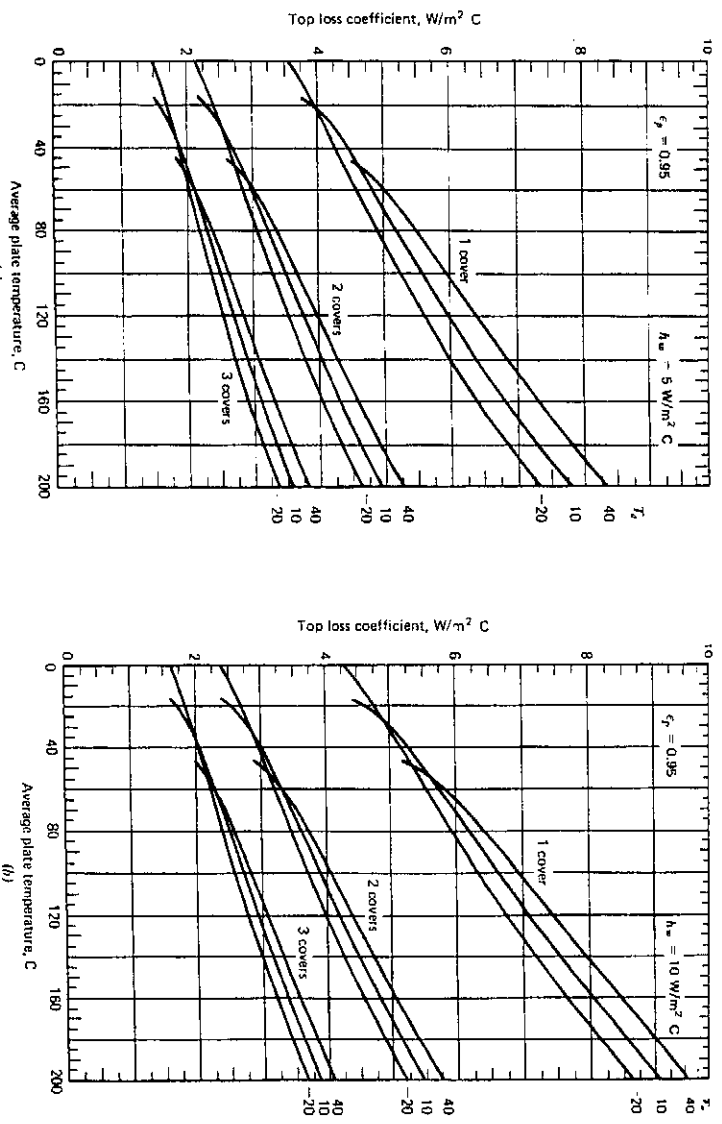
Fonte: [3]

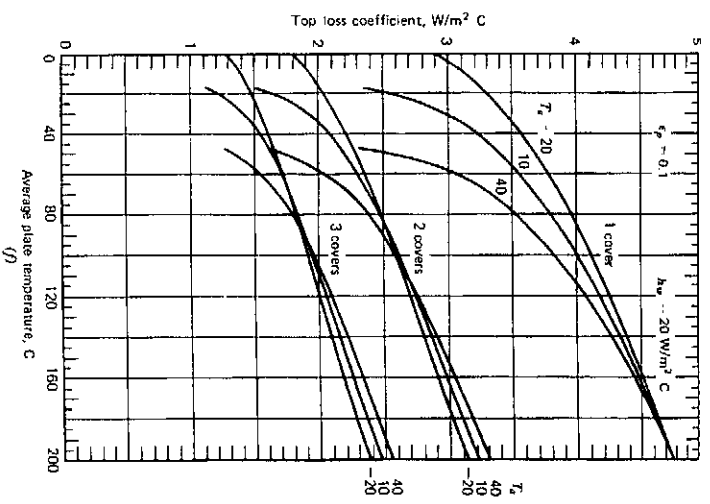
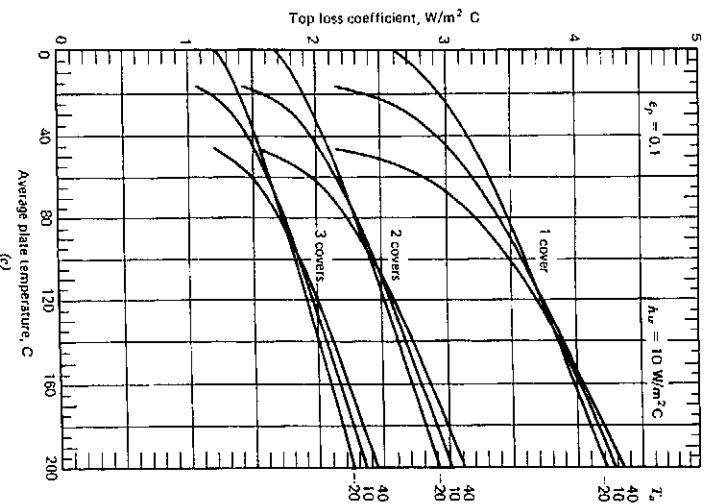
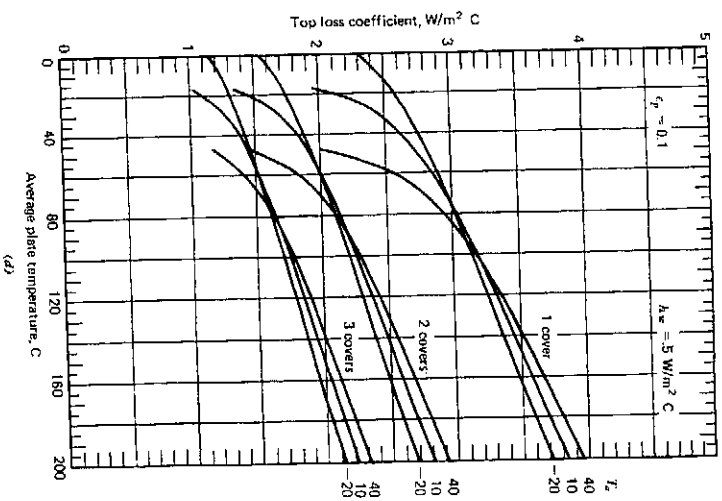
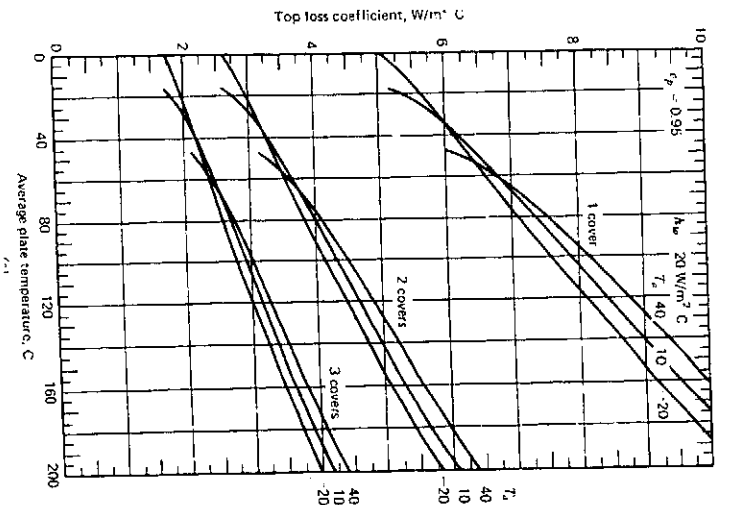
**Índice de refração médio n no espectro solar para alguns materiais de cobertura**

| Materiais de cobertura | n médio |
|------------------------|---------|
|                        |         |

|                                  |      |
|----------------------------------|------|
| Vidro                            | 1,53 |
| Polimetilo                       | 1,49 |
| Fluoreto de Polivinilo           | 1,45 |
| Etileno Propileno polifluorinado | 1,34 |
| Etileno Polifluorinado           | 1,37 |
| Policarboneto                    | 1,60 |

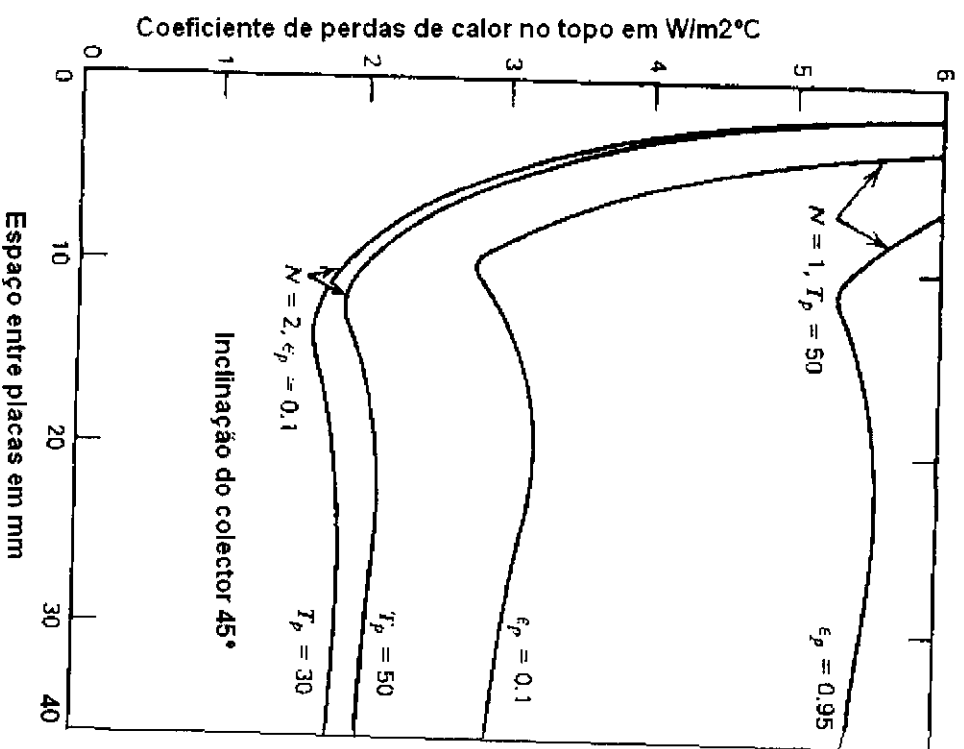
Tabela 4.1.4.1. Índice de refração para alguns materiais de cobertura.  
Fonte [3].



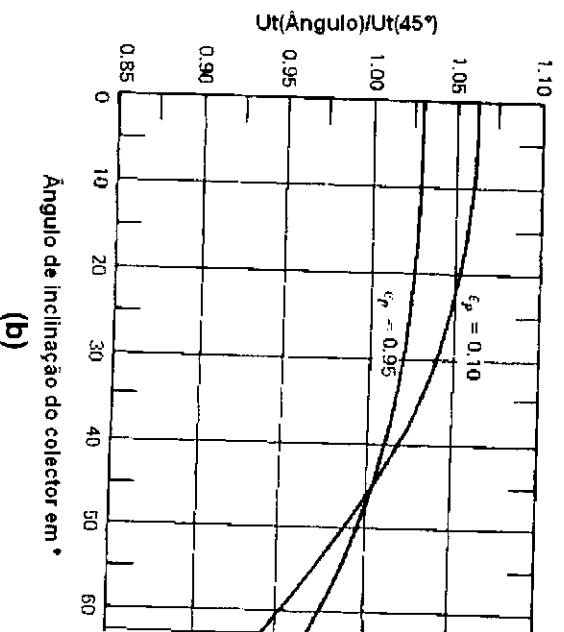


Diagramas 4.1.6.2.1 coeficiente de perdas de calor no topo para uma inclinação de 45°

Fonte: Duffie e Beckman 1991.



(a)



(b)

Figura 4.1.6.2.2 Variação típica das perdas de calor no topo do coletor com a distância entre placas e variação da razão  $U_t(\beta)/U_t(45^\circ)$  com o ângulo de inclinação do coletor  $\beta$ .

Fonte: Adaptado do livro de [3]

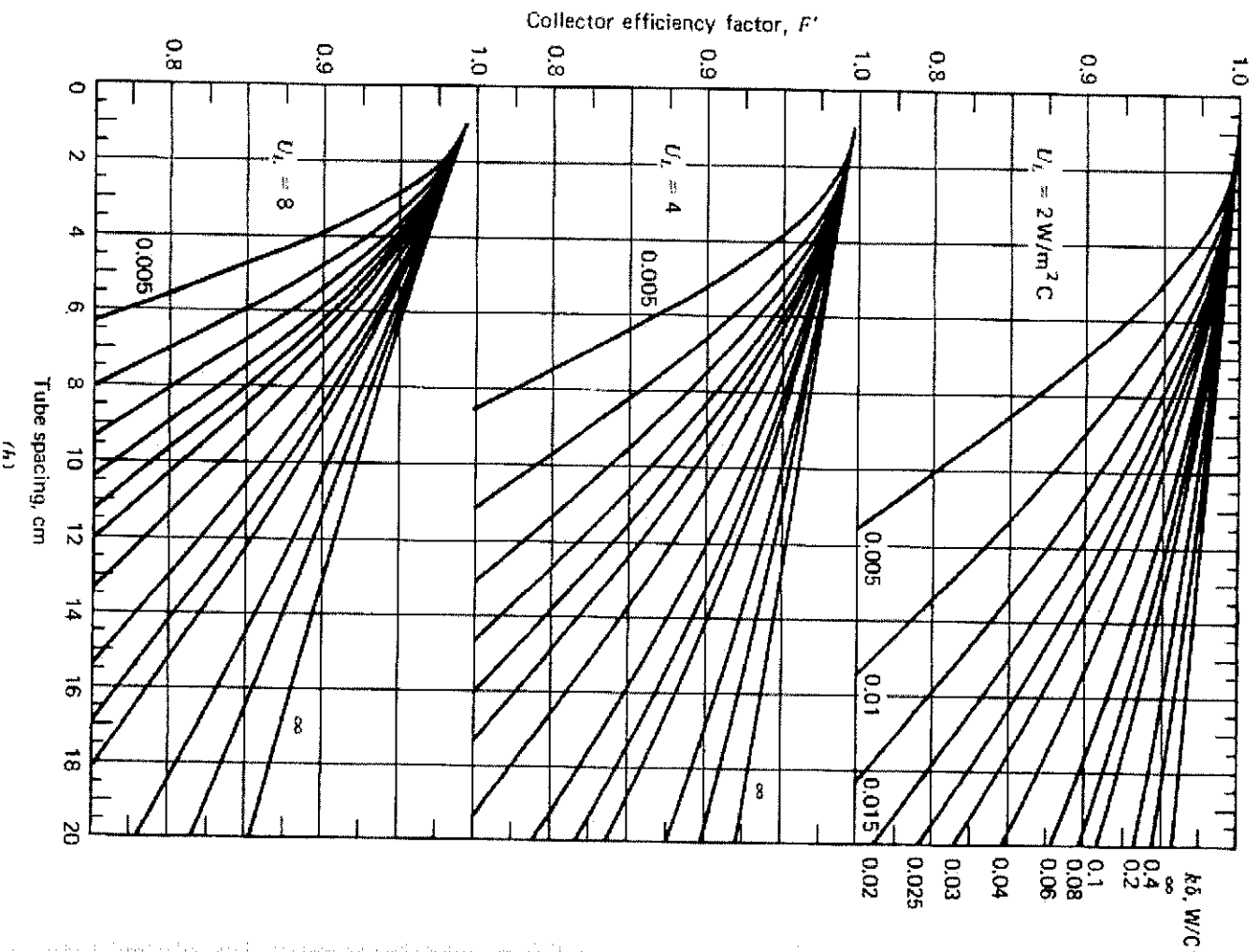


Figura 4.1.6.3.1 Factor de eficiência do colector em função da distância entre tubos, espessura e condutividade da placa de absorção para diferentes coeficientes globais de perda de calor.

Fonte: [3].

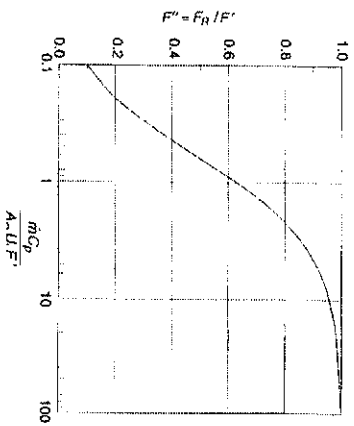


Figura 4.1.6.4.1 Factor de escoamento como função de  $\frac{m C_p}{A.U.F'}$ .

Fonte: Duffie e Beckman 1991.

Consumo de água quente e estimativa do volume do reservatório e da potência calorífica da caldeira

|  |     |
|--|-----|
| Consumo por refeição em litros         | 12  |
| Consumo por kg de roupa seca em litros | 15  |
| Estérilização (3 leitos)               | 375 |

Cozinha e restaurante

|  |     |
|--|-----|
| Nº de refeições a serem confeccionadas | 600 |
| Outros                                 |     |

Lavandaria

| Designação   | Capacidade kg | Qty | Classe |
|--|---------------|-----|--------|
| Maquina de lavar operada por moeda                     | 7             | 0   | 1      |
| Maquina de lavar industrial eléctrica                  | 43            | 4   | 1      |
| Maquina de lavar industrial em aço inox                | 16            | 0   |        |
| Capacidade total instalada por dia em kg de roupa seca | 172           |     |        |

Parâmetros de saída

|                       |             |
|-----------------------|-------------|
| Local                 | Consumo (l) |
| Cozinha e restaurante | 7200        |
| Lavandaria            | 2580        |
| Total (l) @40°C       | 10155       |
|                       | kg          |
|                       | 10          |

Cálculo energético e de armazenamento

|   |       |
|---|-------|
| Parâmetro   | Valor |
| Temperatura da agua quente da caldeira °C                     | 70    |
| Temperatura da agua quente nos consumidores °C                | 40    |
| Temperatura da água de alimentação °C                         | 15    |
| Densidade da água a 45°C em kg/m³                             | 990   |
| Calor específico a pressão constante da água a 45 °C em J/kgK | 4180  |
| Tempo de arranque da caldeira em segundos                     | 10800 |
| Saída   |       |
| Parâmetro   | Valor |
| Volume do reservatório em m³                                  | 5     |
| Potência da caldeira em kW                                    | 112   |

Mapa 4.3.1. Potência da caldeira, volume do reservatório e o consumo de água.

## Mapa de cálculos finais

| Dados   |         |
|---|---------|
| Parâmetro   | Valor   |
| Latitude em $^{\circ}\phi$                          | -23.650 |
| Ângulo de declinação solar em $^{\circ}\delta$      | -11.934 |
| Ângulo de inclinação do colector em $^{\circ}\beta$ | 20.930  |
| Ângulo azimut da superfície do colector $\gamma$    | 135.000 |
| Hora angular em $^{\circ}\omega$                    | -16.750 |
| Constante solar $G_{sc}$ em $W/m^2$                 | 1367    |
| Reflectância do chão $\rho_c$                       | 0.000   |
| Transmitância do vidro $\tau$                       | 0.880   |
| Absorvitância da pla de absorção cobre $\alpha_n$   | 0.900   |
| Emissividade da placa de absorção $\varepsilon$     | 0.160   |
| Dimensões do colector                               | 2x1.8   |

| Mês       | n   | Dia | Mês | Min | A de D 12h |
|-----------|-----|-----|-----|-----|------------|
| Janeiro   | 13  |     |     |     |            |
| Fevereiro | 44  |     |     |     |            |
| Março     | 72  |     |     |     |            |
| Abril     | 103 |     |     |     |            |
| Maio      | 133 |     |     |     |            |
| Junho     | 164 |     |     |     |            |
| Julho     | 194 |     |     |     |            |
| Agosto    | 225 |     |     |     |            |
| Setembro  | 256 |     |     |     |            |
| Outubro   | 286 |     |     |     |            |
| Novembro  | 317 |     |     |     |            |
| Dezembro  | 347 |     |     |     |            |

| Mês       | $\delta$ | $\beta$ | $\gamma$ | $\omega$ | $A_{12}$ | $\rho$ | $G_{sc}$ | $G_{p,n}$ | $G_{p,n}/G_{sc}$ |
|-----------|----------|---------|----------|----------|----------|--------|----------|-----------|------------------|
| Janeiro   | -22      | 13      | 0        | 31       | 5        | 0.96   | 6.9      |           | 7                |
| Fevereiro | -14      | 44      | 5        | 36       | 10       | 1.01   | 6.6      |           | 7                |
| Março     | -4       | 72      | 10       | 41       | 15       | 1.08   | 5.8      |           | 6                |
| Abril     | 9        | 103     | 15       | 51       | 25       | 1.19   | 4.9      |           | 6                |
| Maio      | 18       | 133     | 20       | 56       | 30       | 1.30   | 4.1      |           | 5                |
| Junho     | 23       | 164     | 25       | 61       | 35       | 1.37   | 3.8      |           | 5                |
| Julho     | 22       | 194     | 30       | 66       | 40       | 1.35   | 3.8      |           | 5                |
| Agosto    | 14       | 225     | 35       | 71       | 45       | 1.25   | 4.5      |           | 6                |
| Setembro  | 3        | 256     | 40       | 76       | 50       | 1.13   | 5.0      |           | 6                |
| Outubro   | -9       | 286     | 45       | 81       | 55       | 1.04   | 5.7      |           | 6                |
| Novembro  | -19      | 317     | 50       | 86       | 60       | 0.98   | 6.0      |           | 6                |
| Dezembro  | -23      | 347     | 55       |          |          | 0.95   | 6.6      |           | 6                |

Mapa 4.3.2 Mapa geral que resume o modelo matemático dos cálculos

|       |       |       |       |       |                                   |                      |                   |             |        | Colector            |       |        |
|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------------|----------------------|-------------------|-------------|--------|---------------------|-------|--------|
| $t_1$ | $t_2$ | $t_3$ | $t_4$ | $t_5$ | Somat                             | Angulo $\theta$ em ° | $\alpha/\alpha_n$ | $r(\alpha)$ |        |                     |       |        |
| 5.0   | 146   | 112.0 |       |       | 0.150 -0.118 0.7395 0.1377 -6E-05 | 0.909                | 25                | 0.99        | 0.7612 | a                   | 0.050 | $\phi$ |
| 5.1   | 148   | 112.0 |       |       | 0.098 -0.077 0.7718 0.1438 -7E-05 | 0.937                | 21                | 1.00        | 0.7644 | b                   | 0.025 |        |
| 4.8   | 139   | 112.0 |       |       | 0.026 -0.020 0.7937 0.1478 -7E-05 | 0.947                | 18                | 1.00        | 0.7659 | A                   | 2.000 |        |
| 4.5   | 129   | 112.0 |       |       | -0.062 0.048 0.7862 0.1464 -7E-05 | 0.919                | 23                | 0.99        | 0.7623 | B                   | 1.150 |        |
| 4.1   | 117   | 112.0 |       |       | -0.128 0.101 0.7551 0.1406 -6E-05 | 0.868                | 30                | 0.99        | 0.7579 | E                   | 0.098 |        |
| 3.9   | 112   | 112.0 |       |       | -0.161 0.127 0.731 0.1361 -6E-05  | 0.833                | 34                | 0.98        | 0.7560 | Ac                  | 3.000 |        |
| 3.9   | 112   | 112.0 |       |       | -0.152 0.119 0.7384 0.1375 -6E-05 | 0.843                | 32                | 0.99        | 0.7565 | Caudal mássico kg/s |       |        |
| 4.3   | 123   | 112.0 |       |       | -0.102 0.080 0.7702 0.1434 -7E-05 | 0.892                | 27                | 0.99        | 0.7597 | 0.075               |       |        |
| 4.3   | 126   | 112.0 |       |       | -0.021 0.017 0.7941 0.1479 -7E-05 | 0.937                | 20                | 1.00        | 0.7645 |                     |       |        |
| 4.5   | 130   | 112.0 |       |       | 0.063 -0.049 0.7858 0.1463 -7E-05 | 0.945                | 19                | 1.00        | 0.7657 |                     |       |        |
| 4.4   | 128   | 112.0 |       |       | 0.131 -0.103 0.7535 0.1403 -6E-05 | 0.922                | 23                | 0.99        | 0.7626 |                     |       |        |
| 4.9   | 141   | 112.0 |       |       | 0.161 -0.127 0.7308 0.1361 -6E-05 | 0.901                | 26                | 0.99        | 0.7605 |                     |       |        |
| Média |       |       |       |       |                                   |                      | 25                |             |        |                     |       |        |

Mapa 4.3.2 Mapa geral que resume o modelo matemático dos cálculos (continuação)



## Mapa de Resultados

| Dados          |        |        |    |
|----------------|--------|--------|----|
| N              | 1      | K      |    |
| Tpm            | 127.74 | 400.89 |    |
| $\beta$        | 21.00  | Tfi    | 40 |
| $\epsilon_p$   | 0.16   |        |    |
| h <sub>v</sub> | 10.00  |        |    |
| T <sub>a</sub> | 20.00  |        |    |
| $\sigma$       | 0.00   |        |    |
| $\epsilon_g$   | 0.86   |        |    |

|   |            |
|---|------------|
| f | 0.78094984 |
| C | 508.30468  |
| e | 0.32273914 |

### Fluxograma de cálculo

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| U <sub>t</sub> [W/m <sup>2</sup> °C] | 4.95709206 |
| U <sub>b</sub> [W/m <sup>2</sup> °C] | 0.49       |
| U <sub>c</sub> [W/m <sup>2</sup> °C] | 0.20       |
| U <sub>L</sub> [W/m <sup>2</sup> °C] | 5.64877605 |
| FR                                   | 0.86849987 |

Qu(kW) 9.84853652 Tpm 127.97602

| Número de colectores |   |
|----------------------|---|
| 11                   | 4 |

| Primeira iteração - 100              |            | Terceira iteração - 125              |            | Quarta iteração - 127                |      |
|--------------------------------------|------------|--------------------------------------|------------|--------------------------------------|------|
| U <sub>t</sub> [W/m <sup>2</sup> °C] | 4.62499151 | U <sub>t</sub> [W/m <sup>2</sup> °C] | 4.93207854 | U <sub>t</sub> [W/m <sup>2</sup> °C] | 4.95 |
| U <sub>b</sub> [W/m <sup>2</sup> °C] | 0.49       | U <sub>b</sub> [W/m <sup>2</sup> °C] | 0.49       | U <sub>b</sub> [W/m <sup>2</sup> °C] | 0.49 |
| U <sub>c</sub> [W/m <sup>2</sup> °C] | 0.201684   | U <sub>c</sub> [W/m <sup>2</sup> °C] | 0.201684   | U <sub>c</sub> [W/m <sup>2</sup> °C] | 0.20 |
| U <sub>L</sub> [W/m <sup>2</sup> °C] | 5.31667551 | U <sub>L</sub> [W/m <sup>2</sup> °C] | 5.62376254 | U <sub>L</sub> [W/m <sup>2</sup> °C] | 5.65 |
| FR                                   | 0.86452294 | FR                                   | 0.86819906 | FR                                   | 0.87 |
| Tpm                                  | 136.4674   | Tpm                                  | 128.5812   | Tpm                                  | 128  |
| Qu(kW)                               | 9.81867491 | Qu(kW)                               | 9.84442908 | Qu(kW) colector                      | 9.66 |
| Segunda iteração - 136               |            | Quarta iteração - 129                |            | Qu(kW) Total 112                     |      |
| U <sub>t</sub> [W/m <sup>2</sup> °C] | 5.05786597 | U <sub>t</sub> [W/m <sup>2</sup> °C] | 4.96683075 |                                      |      |
| U <sub>b</sub> [W/m <sup>2</sup> °C] | 0.49       | U <sub>b</sub> [W/m <sup>2</sup> °C] | 0.49       |                                      |      |
| U <sub>c</sub> [W/m <sup>2</sup> °C] | 0.201684   | U <sub>c</sub> [W/m <sup>2</sup> °C] | 0.201684   |                                      |      |
| U <sub>L</sub> [W/m <sup>2</sup> °C] | 5.74954997 | U <sub>L</sub> [W/m <sup>2</sup> °C] | 5.65851475 |                                      |      |
| FR                                   | 0.8697139  | FR                                   | 0.86861705 |                                      |      |
| Tpm                                  | 125.5904   | Tpm                                  | 127.7418   |                                      |      |
| Qu(kW)                               | 9.85504172 | Qu(kW)                               | 9.84735741 |                                      |      |

Mapa 4.3.2 Mapa geral que resume o modelo matemático dos cálculos (continuação)

## Propriedades térmicas dos materiais, da água e do ar

| Material                                | Absorvância $\alpha$ | Emissividade | Condutividade $W/m^{\circ}C$ | $C_p$ $kJ/kg^{\circ}C$ | Densidade $kg/m^3$ | $Pr$ |
|---|----------------------|--------------|------------------------------|------------------------|--------------------|------|
| Negro Cromio na placa de aço com Níquel | 0.96                 | 0.09         |                              |                        |                    |      |
| Cobre comercial enegrecido              | 0.90                 | 0.16         | 385.00                       |                        | 8795.00            |      |
| Aço                                     |                      |              | 47.60                        | 0.50                   | 7850.00            |      |
| Alumínio                                |                      |              | 211.00                       |                        | 2675.00            |      |
| Vidro                                   |                      | 0.88         | 1.05                         | 0.82                   | 2515.00            |      |
| Ar @ 47,5°C $P_0$                       |                      |              | 0.03                         | 1.01                   | 1.18               | 0.71 |
| Água @ 47,5                             |                      |              | 0.64                         | 4.18                   | 991.25             | 3.86 |
| Poliestireno                            |                      |              | 0.03                         |                        | 16.00              |      |
| Poliuretano                             |                      |              | 0.02                         |                        | 24.00              |      |

Mapa 4.3.3. Tabela de propriedades dos materiais

|   | GPL              | Óleo           |
|---|------------------|----------------|
| A | 1,025,294,257.31 | 532,927,280.10 |
| C | 801,334,878.29   | 801334878.3    |
| M | 40066743.91      | 40066743.91    |
| c | 0.55             | 0.43           |
| i | 0.113            | 0.093          |
| e | 0.27             | 0.27           |

| Ano        | VAL              | r      | VAL              | r       |
|------------|------------------|--------|------------------|---------|
|            | GPL              |        | Óleo             |         |
| 1          | 415,903,209.08   | 92.91% | -185,501,329.90  | -10.30% |
| 2          | 697,584,671.82   | 73.69% | -37,004,438.01   | 14.14%  |
| 3          | 1,040,148,230.57 | 67.59% | 142,880,043.67   | 23.55%  |
| 4          | 1,457,261,759.34 | 64.55% | 361,288,257.34   | 28.47%  |
| 5          | 1,965,597,071.38 | 62.72% | 626,913,794.06   | 31.46%  |
| 6          | 2,585,497,989.10 | 61.49% | 950,355,429.81   | 33.46%  |
| 7          | 3,341,796,012.20 | 60.60% | 1,344,541,520.03 | 34.89%  |
| 8          | 4,264,806,313.65 | 59.92% | 1,825,248,072.19 | 35.96%  |
| 9          | 5,391,544,036.22 | 59.40% | 2,411,731,279.86 | 36.78%  |
| 10         | 6,767,209,709.49 | 58.97% | 3,127,499,899.71 | 37.44%  |
| Média de r | 66.19%           |        | 26.59%           |         |

#### LEGENDA

|   |                                  |
|---|----------------------------------|
| A | poupança anual                   |
| C | Custo total do projecto          |
| M | Custo de manutenção              |
| c | Taxa de inflação de combustíveis |
| i | Taxa global de inflação          |
| e | Taxa de juros                    |

**Tabela 5.1. Resultados da avaliação económica do projecto.**

| Características técnicas da estufa | Valor |
|------------------------------------|-------|
| Potência nominal kW                | 150   |
| Capacidade e l/h@100°C             | 1775  |
| Consumo de Óleo kg/h               | 18.8  |
| Consumo de GLP kg/h                | 16.1  |

| Características dos combustíveis |
|----------------------------------|
|----------------------------------|

|      | PCI (kJ/kg) |
|------|-------------|
| Óleo | 42700       |
| GLP  | 50200       |

|                     |       |
|---------------------|-------|
| Consumo anual em kg |       |
| Óleo                | 82344 |
| GLP                 | 70518 |
| Custo anual         |       |
| Óleo                | 82344 |
| GLP                 | 70518 |

| Preço Un  | Preço total      |
|-----------|------------------|
| 8,629.28  | 710,569,706.80   |
| 19,385.96 | 1,367,059,009.75 |

| Custos                               |                |
|--------------------------------------|----------------|
| Custo pelo consumo de óleo anual MZM | 177,642,426.70 |
| Custo pelo consumo de GLP anual MZM  | 341,764,752.44 |

| Poupanças |                  |
|-----------|------------------|
| Óleo MZM  | 532,927,280.10   |
| GPL MZM   | 1,025.294,257.31 |

## Custos gerais do sistema

| ID | Designação  | Preço unitário | Quantidade | Total                 |
|----|---|----------------|------------|-----------------------|
| 1  | Tubo de cobre 3/4" ; 5,5m                                   | 623,077.00     | 50         | 31,153,850.00         |
| 2  | Tubo de cobre 1/2"  | 345,726.00     | 50         | 17,286,300.00         |
| 3  | Tubo de cobre de 1"   | 823,055.00     | 50         | 41,152,750.00         |
| 4  | Tubos de aço 1 1/2" @m                                      | 652,580.00     | 50         | 32,629,000.00         |
| 5  | Curvas de 90° 1/2"  | 28,155.00      | 15         | 422,325.00            |
| 6  | Curvas de 90° 3/4"  | 48,718.00      | 15         | 730,770.00            |
| 7  | Curvas de 90° 1"  | 57,822.00      | 15         | 867,330.00            |
| 8  | Unões em T  | 35,000.00      | 5          | 175,000.00            |
| 9  | Unões de passagem   | 10,500.00      | 10         | 105,000.00            |
| 10 | Válvulas de de borboleta                                    | 105,000.00     | 15         | 1,575,000.00          |
| 11 | Válvulas de retenção 3/4", 1/2" e 1"                        | 235,000.00     | 5          | 1,175,000.00          |
| 12 | Válvula de segurança 500kPa                                 | 1,500,000.00   | 4          | 6,000,000.00          |
| 13 | Purgadores  | 450,000.00     | 4          | 1,800,000.00          |
| 14 | Chapa de cobre 1000X1000X1                                  | 315,000.00     | 15         | 4,725,000.00          |
| 15 | Chapa de aço inox de 1000X1000X2                            | 512,000.00     | 15         | 7,680,000.00          |
| 16 | Chapa de aço para construção                                | 238,000.00     | 15         | 3,570,000.00          |
| 17 | Chapa de Alumínio 1000X1000X1                               | 289,000.00     | 15         | 4,335,000.00          |
| 18 | Isolamento de Poliestireno @ 1m                             | 135,000.00     | 100        | 13,500,000.00         |
| 19 | Fibra de vidro ou outro isolante@kg                         | 125,000.00     | 20         | 2,500,000.00          |
| 20 | Perfis de aço AISI ou outro tipo equivalente médios de em l | 325,000.00     | 15         | 4,875,000.00          |
| 21 | Electrodos @ cx   | 250,000.00     | 10         | 2,500,000.00          |
| 22 | Parafusos e porcas M6                                       | 15,000.00      | 100        | 1,500,000.00          |
| 23 | Parafusos e porcas de M12                                   | 21,000.00      | 100        | 2,100,000.00          |
| 24 | Bomba   | 37,000,000.00  | 4          | 148,000,000.00        |
| 25 | Contactores, cabos e botões de pressão                      | 8,000,000.00   | 1          | 8,000,000.00          |
| 26 | Termómetro de 100°C   | 500,000.00     | 3          | 1,500,000.00          |
| 27 | Manómetros de 1Mpa  | 5,200,000.00   | 2          | 10,400,000.00         |
| 28 | Sondas de temperatura                                       | 8,750,000.00   | 2          | 17,500,000.00         |
| 29 | Comando diferencial   | 22,500,000.00  | 1          | 22,500,000.00         |
|    | Sem: total  |                |            | 389,257,325.00        |
|    | Custo total com IVA@17%                                     |                |            | 455,001,070.25        |
|    | Custo total com a mão de obra@30%                           |                |            | 509,551,391.33        |
|    | <b>Custo total (MZM)</b>                                    |                |            | <b>801,334,878.29</b> |

**Tabela 5.2. Custo total do projecto**

## Evolução de preços 2005

### Combustíveis

| Meses           | GLP<br>MT/kg     | Gasóleo<br>MT/Litro | Óleo<br>MT/Litro   | GLP<br>TIPC   | Gasóleo<br>TIPC | Óleo<br>TIPC  | Taxa de inflação 2004 (%)        | 9.30  |
|-----------------|------------------|---------------------|--------------------|---------------|-----------------|---------------|----------------------------------|-------|
| Janeiro         | 12,497.00        | 15,460.00           | 6,023.90           | -             | -               | -             | Taxa de inflação 2005 (%)        | 11.30 |
| Fevereiro       | 14,091.50        | 13,900.00           | 4,965.70           | 12.76%        | -10.09%         | -17.57%       | Taxa de inflação corrente (%)    | 6.02  |
| Março           | 14,091.50        | 13,900.00           | 6,938.80           | 12.76%        | -10.09%         | 15.19%        | Taxa de juro média de 2004 (%)   | 23.29 |
| Abril           | 14,854.30        | 14,980.00           | 7,155.50           | 18.86%        | -3.10%          | 18.79%        | Taxa de inflação de combustíveis | 25.00 |
| Maio            | 17,676.60        | 17,820.00           | 8,515.00           | 41.45%        | 15.27%          | 41.35%        |                                  |       |
| Junho           | 21,211.90        | 21,150.00           | 10,218.00          | 69.74%        | 36.80%          | 69.62%        |                                  |       |
| Julho           | 21,211.90        | 21,150.00           | 10,218.00          | 69.74%        | 36.80%          | 69.62%        |                                  |       |
| Agosto          | 21,211.90        | 21,150.00           | 10,218.00          | 69.74%        | 36.80%          | 69.62%        |                                  |       |
| Setembro        | 21,211.90        | 21,150.00           | 10,218.00          | 69.74%        | 36.80%          | 69.62%        |                                  |       |
| Outubro         | 23,662.20        | 23,620.00           | 9,693.50           | 89.34%        | 52.78%          | 60.92%        |                                  |       |
| Novembro        | 25,455.40        | 26,050.00           | 9,693.50           | 103.69%       | 68.50%          | 60.92%        |                                  |       |
| Dezembro        | 25,455.40        | 26,050.00           | 9,693.50           | 103.69%       | 68.50%          | 60.92%        |                                  |       |
|                 |                  |                     | <i>Média anual</i> | <i>55.12%</i> | <i>27.41%</i>   | <i>43.25%</i> |                                  |       |
| <b>P Médios</b> | <b>19,385.96</b> | <b>19,698.33</b>    | <b>8,629.28</b>    |               |                 |               |                                  |       |

### 5.3 Evolução de preços de combustíveis em 2005

Fonte: Adaptado da Direcção Nacional de Combustíveis